

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

**“EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE SECADO DE
PUZOLANA Y PREMOLIENDA DE CEMENTO EN CIA.
INDUSTRIAS GUAPÁN S.A”**

Autor:

Edwin Fernando Flores Alvarado

Director:

Ing. Víctor Fernando Lloret Orellana

Cuenca - Ecuador

2014

RESUMEN

La instalación de nuevos equipos para los sistemas de secado de puzolana y premolienda de clínker, incorporados en el año 2013 por Compañía Industrias Guapán S.A., en el área de la molienda final del proceso de fabricación de cemento Portland Puzolánico Tipo IP con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso productivo.

La finalidad de este estudio es demostrar que el nuevo sistema de secado de puzolana permite una mayor adición de puzolana en el proceso de molienda final, disminuyendo así el coste final de producción de cemento; el secador de puzolana permite reducir la humedad de éste material del 15% al 3% en promedio, consiguiendo un mayor flujo de materiales secos que entran a la fase de premolienda y molienda final.

Se complementa el estudio con el análisis del nuevo sistema de premolienda; en donde se mezclan los tres componentes principales del cemento: yeso, puzolana y clínker, este sistema de premolienda permite reducir el tamaño medio de los granos de clínker desde 25mm a 6mm, lo que contribuye a la mejora en rendimiento del molino de cemento.

Una vez realizada la evaluación a los sistemas de secado y premolienda señalamos la incidencia en la molienda final de cemento bajo el punto de vista de la calidad del producto final y costos de producción.

Dejando indicado con los resultados obtenidos las conclusiones y recomendaciones que origina la evaluación realizada y que permitirá, establecer las mejores prácticas operacionales y criterios válidos para que la Compañía optimice sus resultados operacionales.



Palabras claves:

Proceso de Secado, Premolienda, Puzolana, Cemento, Industrias Guapán S.A.

ABSTRACT

The installation of new equipment for the drying systems of pozzolana and pre-grinding of clinker, incorporated in the year 2013 by Company Guapán Industries S.A. , in the area of final grinding process of manufacture of Portland cement Puzolanico Type IP with the objective of improving the efficiency of the production process.

The purpose of this study is to demonstrate that the new drying system of pozzolana allows a greater addition of pozzolana in the final process, thus decreasing the final production cost of cement; the dryer of pozzolana makes it possible to reduce the moisture content of this material of 15 % to 3% on average, achieving a greater flow of dry materials that entering the phase of pre-cutting and final grinding.

It complements the study with the analysis of the new system of pre-grinding; where they mix the three main components of the cement: plaster, pozzolana and clinker, this system of pre-cutting allows you to reduce the average size of the grains of clinker from 25 mm to 6mm which contributes to the improvement in performance of the cement mill.

Once made the evaluation to the drying systems and pre-grinding we note the incidence in the final grinding cement under the point of view of the quality of the final product and the costs of production.

Leaving indicated with the results obtained the conclusions and recommendations that originates the evaluation carried out and that will allow you to establish the best operational practices and valid criteria for that the Company optimize your operational results.

Keywords:

Drying Process, Premilling, Pozzolan, Cement, Industrias Guapán S.A.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO I: FUNDAMENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.....	13
1.1.1 La empresa.....	13
1.1.2 Identidad Corporativa	14
1.1.3 Aspectos legales y constitucionales.....	14
1.2 ANTECEDENTES	15
1.2.1 Historia del cemento en el Ecuador	15
1.2.2 Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón- INECYC-.....	19
1.3 CEMENTO	21
1.3.1 Introducción	21
1.3.2 Antecedentes.....	22
1.3.3 Historia del Cemento Portland	23
1.3.4 Definición.....	26
1.3.5 Tipos de cemento	26
CAPITULO II: FABRICACIÓN DE CEMENTO	31
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	31
2.1.1 Trituración	31
2.1.2 Prehomogenización	32
2.1.3 Molienda de crudo	33
2.1.4 Homogenización	35
2.1.5 Clinkerización y Enfriamiento.....	37
2.1.6 Molienda de Cemento.....	39
2.1.7 Empaque y despacho del material.....	41



2.2 PRE MOLIENDA DE CEMENTO	42
2.2.1 Equipo de pre molienda	42
2.2.2 Materia Primas	44
2.3 SECADO DE PUZOLANA	47
2.3.1 Equipo de Secado de Pozolana	47
2.4 RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO	49
CAPITULO III: ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP PRODUCIDO CON LOS SISTEMAS DE PRE MOLIENDA Y SECADO DE PUZOLANA	54
3.1 OBJETIVOS	54
3.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD	54
3.3 PRUEBAS Y ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS E INSTRUMENTAL	56
3.3.1 Curvas Granulométricas	56
3.3.2 Humedades	64
3.3.3 Densidades	70
3.4 CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS Y NORMAS INEN	71
CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO	99
4.1 OBJETIVO	99
4.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA EL MES DE MARZO DE 2013 (SIN SECADOR DE PUZOLANA Y SIN PREMOLIENDA)	99
4.3 INCIDENCIA EN EL COSTO DE PRODUCCION DEL SISTEMA DE SECADO DE PUZOLANA Y PREMOLIENDA (COSTO PARA EL MES DE JULIO DE 2013)	100
4.4 RENTABILIDAD DE LA INVERSION	102
4.5 CONCLUSIÓN	102
CAPITULO V: APLICACIONES Y RESULTADOS	104



5.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES.....	104
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	115
CONCLUSIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	117
ANEXOS.....	118

Cláusula de derechos de autor

Yo, Edwin Fernando Flores Alvarado, autor de la “EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE SECADO DE PUZOLANA Y PREMOLIENDA DE CEMENTO EN CIA. INDUSTRIAS GUAPÁN S.A”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 8 de septiembre de 2014



Edwin Fernando Flores Alvarado
C.I. 0104615323

Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Edwin Fernando Flores Alvarado, autor de la “EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE SECADO DE PUZOLANA Y PREMOLIENDA DE CEMENTO EN CIA. INDUSTRIAS GUAPÁN S.A”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 8 de septiembre de 2014



Edwin Fernando Flores Alvarado

C.I. 0104615323



DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida quienes con su esfuerzo han hecho posible que se cumplan mis metas, a mis hermanos que me han apoyado incondicionalmente durante las etapas de mi vida.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme el regalo de la vida, por permitirme cumplir cada una de las metas que me he trazado y especialmente por brindarme unos padres excepcionales quienes siempre han estado a mi lado apoyándome incondicionalmente en cada etapa de mi vida, guiándome por el camino correcto, a mis hermanos por brindarme su apoyo siempre que lo he necesitado, a mis sobrinos por brindarme su inmenso amor.

De igual manera agradezco a las personas que hicieron posible este trabajo como es el Ing. Fernando LLoret quien con sus conocimientos y responsabilidad hizo posible la culminación de este trabajo.

Por ultimo un especial agradecimiento al Ing. Patricio Ruiz Jefe del Departamento de Control de Calidad de Industrias Guapán quien me brindó su apoyo y asesoramiento para poder llevar a cabo este proyecto, de igual manera al equipo de trabajo del departamento y a la compañía quienes siempre estuvieron prestos a brindarme la apertura y facilidades para la elaboración del estudio

INTRODUCCIÓN

De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento portland y sus derivados son los más empleados en la construcción, tener un precio relativamente bajo en comparación con otros materiales y tener unas propiedades muy adecuadas para las metas que deben alcanzar lo convierten en un producto de gran demanda.

Las materias primas para la fabricación del cemento Portland consisten esencialmente en caliza, arena silíceo y arcilla, la producción de cemento con adiciones activas, tanto puzolanas como otros materiales surge por la necesidad de mejorar sus propiedades y disminuir los costos de producción.

Es así que en toda empresa cementera es de vital importancia llevar un exhaustivo control de calidad de materia prima, producto en proceso y producto final, con la finalidad de mejorar las etapas del proceso de fabricación lo que influirá en una mejor calidad de producto como en la disminución de costos para la compañía.

En la industria cementera durante el proceso de fabricación de cemento se pueden aplicar mejoras constantes, que nos permitan un mayor rendimiento en base al control, uso y monitoreo de variables de operación y de calidad de materia prima, relacionando estas actividades con el aporte de valor que se pueda dar al producto y consecuentemente a la rentabilidad de la Compañía.

Por este motivo Compañía Industrias Guapán S.A, incorpora los sistemas de premolienda de cemento y secado de puzolana, con la finalidad de mejorar la etapa final de molienda de cemento Portland Puzolánico Tipo IP en Compañía Industrias Guapán S.A.

El objetivo de estas implementaciones es conseguir una mayor adición de puzolana, un mayor rendimiento del molino de cemento, y por ende una disminución del consumo energético de la etapa de molienda de cemento.

CAPITULO I: FUNDAMENTO DEL ESTUDIO

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.

1.1.1 La empresa¹

“**Industrias Guapán S.A.**, es una empresa con más de cincuenta y cinco años de experiencia y tradición en el mercado; líder en la producción y comercialización de cemento en la región sur del Ecuador. La empresa cimienta su desarrollo sobre la base de ser una organización empresarial que sirve a su entorno social de una manera dinámica y eficiente; asumimos con responsabilidad el reto de alcanzar sustentabilidad, y reconocemos que el éxito de nuestro negocio depende de mantener el equilibrio entre los objetivos económicos, sociales y medioambientales. En Guapán trabajamos con devoción para satisfacer las necesidades de los clientes, la comunidad y nuestro recurso humano.

Visión

Empresa de alta productividad, competitiva y con valor económico creciente; de reconocido prestigio por la calidad de sus productos, por su excelente servicio al cliente, por su cultura de conservación del medio ambiente, por sus relaciones laborales proactivas; y, con personal profundamente comprometido con la misión empresarial.

Misión

Contribuir al desarrollo económico y social del austro del país, mediante la producción y provisión de cemento y productos relacionados, de alta calidad.

¹ La Empresa. (s.f.). Recuperado el 7 de agosto de 2013, de <http://www.industriasguapan.com.ec/la-empresa>

1.1.2 Identidad Corporativa

Política de Calidad

Industrias Guapán produce Cemento y derivados de alta calidad, mediante un modelo de gestión y mejoramiento continuo que tiene como objetivo asegurar la total satisfacción de sus clientes, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo de sus recursos, la comunidad y el país.

Valores Corporativos

- Honestidad en el manejo de los asuntos empresariales
- Respeto por los bienes empresariales y por los derechos de los accionistas
- Respeto a los legítimos intereses de los trabajadores
- Fidelidad con la Misión empresarial
- Compromiso con la Visión de futuro.”

1.1.3 Aspectos legales y constitucionales

La constitución de la Compañía Industrias Guapán ocurre el 18 de julio de 1955 con un capital social de 25`000.000,00 de Sucres. En un inicio, sus accionistas fueron la Caja de Seguros Social – hoy Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social IEES-, Banco Nacional de Fomento, Centro de Reconversión Económica del Austro y los Consejos Municipales de Azogues, Biblián y Cuenca; en el año 1969 el IEES adquiere las acciones a los demás Accionistas a excepción del Banco Nacional de Fomento. En el presente año, el -IESS- cedió la totalidad de las acciones de Guapán al Ministerio de Industrias y Productividad y ése a su vez a la Empresa Pública Cementera del Ecuador -EPCE- quien actualmente la administra.

1.2 ANTECEDENTES²

1.2.1 Historia del cemento en el Ecuador

“La industria del cemento en el Ecuador se inicia en el año 1923 cuando en la ciudad de Guayaquil la empresa Industrias y Construcciones instaló su primera planta, con una producción de 3.000 toneladas/año.

En el Ecuador existen cuatro empresas que fabrican cemento, dos pertenecen a instituciones del estado y las dos restantes son privadas. Una de las empresas privadas es HOLCIM Ecuador, la cual dispone de dos plantas, una dedica únicamente a molienda SAN RAFAEL. En el cuadro siguiente se indican las empresas de cemento.

	PLANTA	UBICACIÓN
CEMENTO CHIMBORAZO	San Juan Chico	Riobamba
INDUSTRIAS GUAPAN S.A	Guapán	Azogues
LAFARGE CEMENTO S.A.	Otavalo	Otavalo
HOLCIM ECUADOR S.A.	Cerro Blanco	Guayaquil
	San Rafael	Latacunga

Tabla 1.1. Empresas cementeras en Ecuador

Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón - Inecyc-

A continuación se indica la ubicación geográfica de las empresas de cemento en la figura 1.1



Figura 1.1. Ubicación geográfica de las Plantas de Cemento en el Ecuador.
Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón -Inecyc-

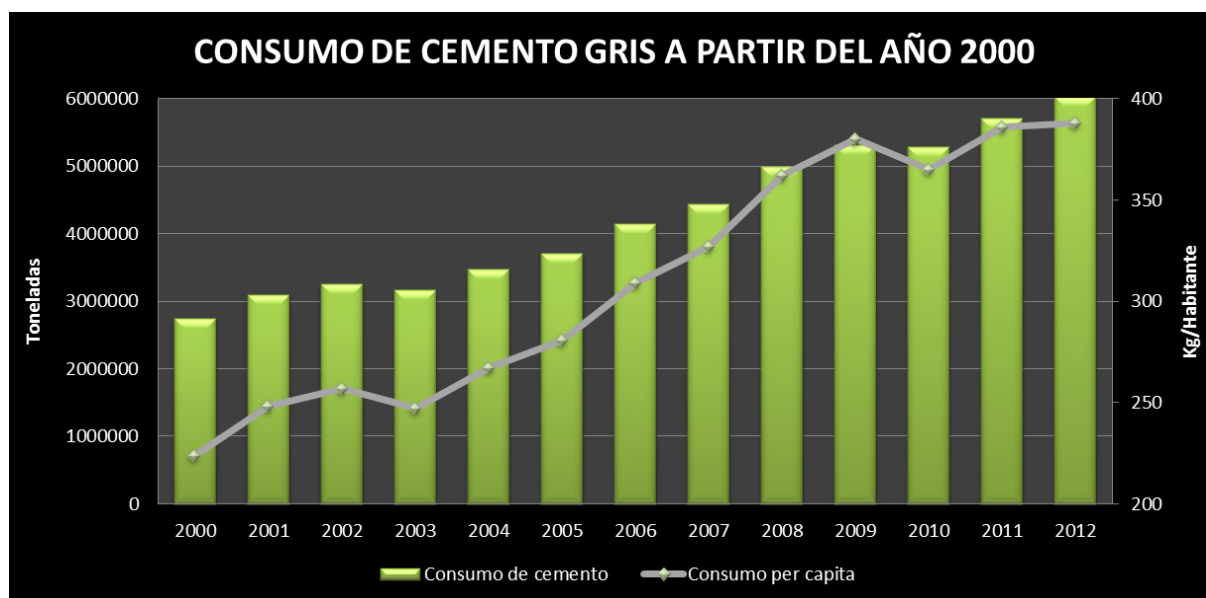
La industria nacional suministra el 100% del cemento gris que se consume en el país, siendo el cemento Portland IP, que se elabora bajo la Norma INEN 490 (ASTM C 595) el de mayor comercialización, cementos puros tipo I y II así como por desempeño HE se los puede obtener bajo pedido, cemento blanco y especiales se importan.

En el año 2012 la comercialización de cemento gris fue de 6'025.351 toneladas que representan un crecimiento del 5.6% con respecto del año 2011.

En el siguiente cuadro se representa el crecimiento del mercado y el consumo per cápita para los años 2000 a 2012

CONCEPTO	UNIDAD	AÑO												
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Poblacion	Habitantes	12.299.120	12.479.924	12.660.728	12.842.578	13.026.891	13.215.089	13.408.270	13.605.485	13.805.095	14.005.449	14.483.499	14.765.927	15.520.973
Consumo de cemento	Toneladas	2.750.232	3.096.678	3.255.461	3.171.681	3.478.169	3.715.500	4.141.009	4.447.070	4.991.248	5.318.935	5.287.126	5.705.731	6.025.351
Consumo Per Capita	Kg/Habitante	224	248	257	247	267	281	309	327	362	380	365	386	388

Tabla 1.2. Crecimiento del consumo/consumo per cápita entre los años 2000 - 2011.
Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Hormigón -Inecyc-



Cuadro 1.1. Crecimiento del consumo para los años 2000 - 2012.
Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Hormigón -Inecyc-

En el año 2006 la industria nacional copó su capacidad de producir Clinker, pero su capacidad de molienda no fue la máxima, motivo por el cual se tuvo que importar para suplir la demanda a partir de ese año.

La comercialización de cemento gris producido por la industria ecuatoriana en el año 2013 la indicamos a continuación en la siguiente tabla.

COMERCIALIZACIÓN DE CEMENTO GRIS PRODUCIDO POR LA INDUSTRIA ECUATORIANA EN EL AÑO 2013 (toneladas métricas)													
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
AÑO 2013	Mensual	537391.3	447928.7	499742.8	545440.1	553278.1	523524.9						
	Acumulado	537391.3	985320.0	1485062.8	2030502.8	2583780.9	3107305.8	3107305.8	3107305.8	3107305.8	3107305.8	3107305.8	3107305.8
AÑO 2012	Mensual	452647.4	395047.4	496799.7	433784.7	487727.3	491976.9	521828.7	557125.3	519919.9	586426.0	561534.7	520534.7
	Acumulado	452647.4	847694.8	1344494.5	1778279.2	2266006.5	2757983.4	3279812.1	3836937.4	4356857.3	4943283.3	5504818.0	6025352.7
% CRECIMIENTO	Mensual	18.7	13.4	0.6	25.7	13.4	6.4	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
	Acumulado	18.7	16.2	10.5	14.2	14.0	12.7	-5.3	-19.0	-28.7	-37.1	-43.6	-48.4

Tabla 1.3. Comercialización de cemento gris producido por la industria ecuatoriana en el año 2013

Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Hormigón -Inecyc-



Cuadro 1.2. Comercialización mensual años 2012-2013
Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Hormigón -Inecyc-

En base a tablas y cuadros mostrados anteriormente se puede observar que la tendencia de consumo de cemento a nivel nacional continuara incrementándose, de manera que el estudio de este proyecto será de gran utilidad para la aplicación de proyectos en la compañía.

En el año 2005 la industria del cemento decidió que se debía constituir un organismo que la represente, es así que nace el Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón - INECYC-, el cual empezó a operar desde el mes de septiembre del 2005.

1.2.2 Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón- INECYC-

Son socios activos del Instituto las cuatro empresas cementeras y las dos empresas más grandes suministradoras de hormigón premezclado en el país, HOLCIM Ecuador y Hormigones Hércules.

Las actividades que debe cumplir el INECYC son:

- Agrupar a las personas jurídicas que se dediquen a la elaboración, para su venta a terceros, de cemento, hormigón y/o productos relacionados; así como a quienes se dedican a su distribución y comercialización en forma permanente;
- Defender los intereses legítimos de los fabricantes de cemento, hormigón y/o productos relacionados, que sean socios del instituto;
- Servir de órgano de consulta al público, en los asuntos relacionados con la aplicación o el empleo del cemento y del hormigón, y difundir su uso y aplicaciones;
- Promover programas de estudio y capacitación, a través de conferencias, cursos, congresos, exposiciones, etc. Relacionados con la investigación y desarrollo tecnológico del cemento y el hormigón;
- Publicar boletines, libros y revistas de carácter técnico, así como promover o bien otorgar permisos y estímulos a las personas que en forma destacada ejecutan obras o trabajos notables, que divulguen el empleo, las propiedades, la aplicación y las ventajas no sólo del cemento y del concreto, sino de productos derivados de estos;
- Mantener relaciones constantes, no solamente con los organismos públicos y privados en nuestro país, sino también con las Asociaciones o Institutos Técnicos en el extranjero, que se dediquen a la investigación y promoción del cemento y el concreto.

Capacitación

El INECYC a partir de su creación dedicó sus esfuerzos a la difusión de la tecnología del hormigón, en las principales ciudades del país, teniendo un mayor énfasis en las ciudades donde el desconocimiento de nuevas y mejores técnicas constructivas con cemento y hormigón eran desconocidos.

Es así que en el mes de mayo del 2006, con la colaboración de la Federación Iberoamericana de Hormigón Premezclado y en conjunto con la Asociación de Productores de Hormigón Premezclado del Ecuador -FICEM-APCAC- se organizó en Quito, el primer seminario sobre pavimento y carreteras de hormigón, el cual congregó más de 250 técnicos.

Otro de los cursos dictado es diseño de pisos industriales y pavimentos de hormigón.

Publicaciones Técnicas

El Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón desde su conformación se han interesado en transmitir el conocimiento, y una de las formas más eficaces de hacerlo es a través de publicaciones, es así que se han realizado varias publicaciones técnicas en las que destacan las siguientes:

Una recopilación de las normas ecuatorianas que establecen los requisitos técnicos para la fabricación del cemento en el Ecuador, las normas para elaborar hormigón premezclado y en obra, así como el Reglamento Técnico para el Cemento, La Cal y el Yeso. Esta fue la primera publicación en ser editada, previo a un acuerdo con el organismo estatal de la normalización, uno de los motivos por el que se publicó esta obra fue la escasa difusión de estas normas y por ende el desconocimiento de las mismas por parte de los profesionales que trabajan con estos materiales.



Otras publicaciones destacadas son una sobre suelo cemento y bases de agregados estabilizadas con cemento y un manual de consejos prácticos sobre hormigón, titulado “El Manual de Pepe Hormigón”, esta última publicación es una adaptación, previa autorización, de publicaciones anteriores realizadas por la Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado ANEFHOP y La Asociación Colombiana de Productores de Concreto, ASOCRECTO.

Una publicación realizada por la FICEM fue el libro titulado “La Carretera del Hormigón”, el cual fue de mucha utilidad para la difusión de la técnica del hormigón en la construcción de carreteras.

Normalización

En nuestro país uno de los aspectos que se encontraba descuidado es la normalización, tanto para cemento como para hormigón, por lo que, luego de suscribir un convenio de cooperación interinstitucional con el Instituto Ecuatoriano de Normalización -INEN-el INECYC asumió la tarea de coordinar la actualización y formulación de normas técnicas, que en algunos casos no habían sido revisadas por más de 25 años.

Esta actividad se empezó a realizar en el mes de diciembre del 2007 con la revisión de las normas para cemento.”²

1.3 CEMENTO³

1.3.1 Introducción

“De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento portland y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son minerales muy abundantes en la

² INECYC, La industria del cemento en Ecuador, 2008

naturaleza, ser su precio relativamente bajo en comparación con otros materiales y tener unas propiedades muy adecuadas para las metas que deben alcanzar.

Dentro de los conglomerantes hidráulicos entran también los cementos de horno alto, los puzolánicos y los mixtos, teniendo todos éstos un campo muy grande de empleo en hormigones para determinados medios, así como los cementos aluminosos "cementos de aluminato de calcio", que se aplican en casos especiales.

Los cementos se emplean para producir morteros y hormigones cuando se mezclan con agua y áridos, naturales o artificiales, obteniéndose con ellos elementos constructivos prefabricados o contruidos "in situ".

1.3.2 Antecedentes

Hace 5.000 años aparecen al norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas, estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indios.



Figura 1.2. Imagen de las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico.
Fuente: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones

Los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales.



En Troya y Micenas, dice la historia que, se emplearon piedras unidas por arcilla para construir muros, pero, realmente el hormigón confeccionado con un mínimo de técnica aparece en unas bóvedas construidas cien años antes de J.C.

Los romanos dieron un paso importante al descubrir un cemento que fabricaban mezclando cenizas volcánicas con cal viva. En Puteoli conocido hoy como Puzzuoli se encontraba un depósito de estas cenizas, de aquí que a este cemento se le llamase "cemento de puzolana".

Con hormigón construye Agripa en el año 27 antes de J.C. el Panteón en Roma, que sería destruido por un incendio y reconstruido posteriormente por Adriano en el año 120 de nuestra era y que, desde entonces, desafió el paso de tiempo sin sufrir daños hasta el año 609 se transformó en la iglesia de Santa María de los Mártires. Su cúpula de 44 metros de luz está construida en hormigón y no tiene más huecos que un lucernario situado en la parte superior.

1.3.3 Historia del Cemento Portland

Hasta el siglo XVIII puede decirse que los únicos conglomerantes empleados en la construcción fueron los yesos y las cales hidráulicas, sin embargo, es durante este siglo cuando se despierta un interés notable por el conocimiento de los cementos.

John Smeaton, ingeniero de Yorkshire (Inglaterra), al reconstruir en 1758 el faro de Eddystone en la costa de Cornish, se encuentra con que los morteros formados por la adición de una puzolana a una caliza con alta proporción de arcilla eran los que mejores resultados daban frente a la acción de las aguas marinas y que la presencia de arcilla en las cales, no sólo las perjudicaba sino que por el contrario, las mejoraba, haciendo que estas cales fraguasen bajo el agua y que una vez endurecidas fuesen insolubles en ella.



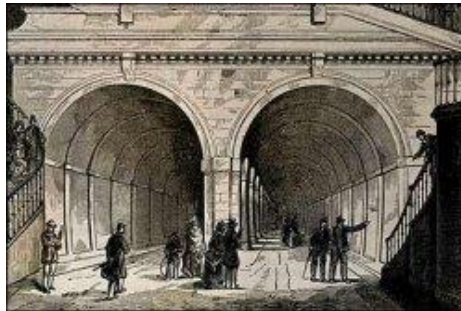
Figura 1.3. Imagen del faro de Eddystone en la costa de Cornish
Fuente: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones

Puede decirse con acierto que el primer padre del cemento fue Vicat a él se debe el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad y que propuso en 1817. Vicat fue un gran investigador y divulgador de sus trabajos; en 1818 publicó su "Recherches experimentales" y en 1928 "Mortiers et cimentscalcaires". En estos trabajos marca la pauta a seguir en la fabricación del cemento por medio de mezclas calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente. El sistema de fabricación que empleó Vicat fue el de vía húmeda y con él marcó el inicio del actual proceso de fabricación. Este gran científico en 1853 empieza a estudiar la acción destructiva del agua de mar sobre el mortero y hormigón.

En 1824, Joseph Aspdin, un constructor de Leeds en Inglaterra, daba el nombre de cemento portland y patentaba un material pulverulento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland. Probablemente, el material patentado por Aspdin era una caliza hidráulica debido, entre otras cosas, a las bajas temperaturas empleadas en la cocción.

En 1838 Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de Aspdin en el que se había logrado una parcial sinterización por elección de una temperatura adecuada de cocción. Este cemento se aplicó en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres.

Puede decirse que el prototipo del cemento moderno fue producido a escala industrial por Isaac Johnson quien en 1845 logra conseguir temperaturas suficientemente altas para clinkerizar a la mezcla de arcilla y caliza empleada como materia prima.



**Figura 1.4. Imagen de un túnel bajo el río Támesis en Londres.
Fuente: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones**

El intenso desarrollo de la construcción de ferrocarriles, puentes, puertos, diques, etc., en la segunda mitad del siglo XIX, da una importancia enorme al cemento y las fábricas de éste, especialmente las de cemento natural, empiezan a extenderse por doquier.

Es a partir de 1900 cuando los cementos portland se imponen en las obras de ingeniería y cuando empieza un descenso veloz del consumo de cementos naturales.

Actualmente, el cemento portland ha llegado a una gran perfección y es el material industrializado de construcción de mayor consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, yendo destinada, prácticamente, toda su producción a enlazar piedras sueltas para crear el material pétreo que conocemos como hormigón.

Las investigaciones llevadas a cabo por los padres del cemento Michaelis y Le Chatelier, en 1870 y 1880, fueron fundamentales y muy meritorias para el desarrollo

de este material. En ellas se apoya toda la investigación actual que emplea técnicas de análisis muy sofisticadas y rápidas.”³

1.3.4 Definición

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos debe producir un hormigón o mortero que conserve su trabajabilidad durante un tiempo suficiente, alcanzar unos niveles de resistencias preestablecido y presentar una estabilidad de volumen a largo plazo.

El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de los silicatos de calcio, aunque también pueden participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos, como por ejemplo, los aluminatos.

1.3.5 Tipos de cemento

“Los cementos son materiales conglomerantes obtenidos por calentamiento hasta la clinkerización (sinterización) de carbonato cálcico, sílice y alúmina.

Los productos obtenidos son hidráulicos (silicatos y aluminatos cálcicos que fraguan bajo el agua) que se muelen hasta obtener materiales en forma de polvo muy fino. Aunque se trata de materiales artificiales, se distinguen los siguientes dos tipos:

³ Historia del cemento. (s.f.).
http://ieca.es/reportaje.asp?id_rep=5

Recuperado el 7 de agosto de 2013, de

1.3.5.1. Cementos Naturales

Estos **cementos** se producen por **calcinación de una mezcla natural de sustancias calcáreas y argiláceas**, a una temperatura por debajo de aquella en que sucede la aglomeración. La norma de la ASTM que rige estos cementos naturales, C10, exige que la temperatura no rebase la necesaria para expulsar del material el dióxido de carbono.

Puesto que los **cementos naturales** son derivados de materiales presentes en la naturaleza que, por tanto, no requieren un esfuerzo específico para ajustar su composición, son cementantes que exhiben grandes fluctuaciones de composición y propiedades. Es decir, algunos tienen propiedades idénticas a las del cemento Portland, pero otros son mucho más débiles.

La **principal aplicación de los cementos naturales son los morteros para pegar ladrillo y mampostería**, aunque también se emplean como aditivos de bajo costo para concretos de cemento Portland.

1.3.5.2. Cementos Artificiales

Se mezclan calizas y arcillas para su fabricación, en proporción tal, que toda la cal reaccione con los silicatos convenientemente preparados y dosificados. Son más constantes en su composición que los cementos naturales. La cocción de la mezcla se realiza a una temperatura de entre 1450 y 1480 °C. La masa homogénea obtenida se denomina clinker, la cual, después de ser triturada finamente, se convierte en el componente básico para la fabricación del cemento.

Entre los cementos artificiales se distinguen los siguientes:

1.3.5.2.1 Portland

El clinker de cemento portland se obtiene por sinterización de una mezcla de materias primas (crudo, pasta o harina finamente dividido, íntimamente mezclado y

homogéneo) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y pequeñas cantidades de otras materias.

Las materias primas para la fabricación del cemento Portland consisten esencialmente en caliza, marga, arena silíceas y arcilla. También se emplean otras adiciones tales como yeso o materiales puzolánicos. Las calizas y margas aportan el óxido de calcio y las arcillas son responsables del aporte de los óxidos metálicos.

El proceso de elaboración consiste en mezclar las rocas calcáreas y las arcillas en proporciones adecuadas y molerlas finamente, de manera que el CaO de la caliza y los compuestos de la arcilla (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) resulten homogenizados adecuadamente.

El producto resultante, denominado polvo crudo, se calcina en un horno a temperaturas de 1450°C - 1600°C , donde se produce la fusión incipiente del producto resultante, denominado clínker. El clínker está compuesto fundamentalmente por los cuatro óxidos anteriormente mencionados.

1.3.5.2.2. Aluminato Cálcico

Son ricos en caliza y bauxita (alúmina), obteniéndose aluminatos cálcicos y presentan alta resistencia inicial. Los compuestos que se forman son aluminato monocálcico y silicato dicálcico. No necesita ningún tipo de regulador de fraguado. Llamados anteriormente cementos aluminosos, de endurecimiento muy rápido y, por lo tanto, de muy altas resistencias a cortas edades. De acuerdo con la norma UNE 80310:1996 "Cementos de Aluminato de Calcio" se designan con el prefijo CAC, seguido de la letra R, indicativa de altas resistencias iniciales.

1.3.5.2.3 Siderúrgico

Mezcla de clínker de Portland, yeso y escoria de alto horno. La escoria de alto horno es un material hidráulico latente, es decir, que posee propiedades hidráulicas



cuando se activa de manera adecuada. Esta escoria debe de estar constituida por lo menos $\frac{2}{3}$ en masa de la suma de CaO , MgO y SiO_2 . El resto contiene Al_2O_3 junto con pequeñas cantidades de otros óxidos. La escoria granulada del horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria en estado de fusión de composición adecuada, procedente de la fusión de mineral de hierro en altos hornos y constituida al menos en dos tercios de su masa por escoria vítrea.

1.3.5.2.4. Puzolánico

Mezcla de clinker de Portland, yeso y puzolana (material silíceo que mezclado con cal y agua produce compuestos hidráulicos). Los materiales puzolánicos son sustancias naturales o industriales de composición silícea o silicoaluminosas, o bien una mezcla de ambas.

Estos materiales no endurecen por sí mismos cuando se amasan con agua, pero finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan a la temperatura ambiente, con el hidróxido de calcio disuelto y forman compuestos de silicato y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los formados durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos.

1.3.5.2.5 Especiales

Estos no son otros que los cementos de uso general a los cuales se les ha incorporado ciertas propiedades especiales que le agregan utilidad para determinadas aplicaciones particulares. Entre estos se puede mencionar los blancos, de alta resistencia inicial, altamente resistente a los sulfatos, moderadamente resistente a los sulfatos, de bajo calor de hidratación, resistente a la reacción álcali-agregado.”⁴

⁴ Díaz, Anabela. Diseño y Selección de Equipos de un Sistema de Pre-molienda de Clinker y Aditivos para la Industria Cementera [en línea] 2002 [fecha de consulta: 20 de julio de 2013]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3377_C.pdf



1.3.5.3. Definición de términos y tipos de cemento según la NORMA NTE INEN 151:2010

Para la definición de términos utilizados en la fabricación de cemento nos basamos en la NORMA NTE INEN 151:2010

CAPITULO II: FABRICACIÓN DE CEMENTO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación que se realiza en “Industrias Guapán” es del tipo vía seca. El proceso tiene lugar a través de siete etapas en secuencia continua.

2.1.1 Trituración

El proceso de fabricación empieza con la reducción del tamaño de la materia prima que procede de las canteras, teniendo en la entrada rocas con dimensiones de aproximadamente 1000 mm de diámetro y en la salida, partículas de las cuales el 95%, su diámetro son menores a 25 mm.

El equipo que se utiliza en esta etapa es un triturador de martillos marca Williams Patente Crusher&Pulv. Co, con una capacidad de 500 toneladas métricas por hora con una humedad de entrada del material de 8%, lo suficiente para abastecer al proceso de producción con un funcionamiento de 8 horas diarias durante 5 días a la semana. El accionamiento de esta máquina es a través un motor eléctrico de 1500 HP y un consumo específico de 3,5 kilovatios hora por tonelada métrica.



Figura 2.1. Imágenes de Triturador de Martillos marca Williams Patente Crusher&Pulv. Co.
Fuente: Propia

2.1.2 Prehomogenización

Es el área destinada para el almacenamiento del material triturado y la homogeneidad del producto en elaboración, previo a la dosificación y molienda de crudo. Se lleva a efecto en esta área el apilamiento en tres pilas de 7,000 toneladas cada una y luego la recuperación a través de un sistema de rastrillo y transporte.

La maquinaria que realiza la pre homogenización está dentro de una bodega circular, marca Pohlig - Heckel - Bleichert, que consta de un apilador con capacidad de 600 toneladas métricas por hora, almacenando el material en tres pilas de 7000 toneladas cada una y un recuperador con capacidad de alimentación de 200 toneladas métricas por hora.

La capacidad nominal de almacenamiento es de 40.000 toneladas, pero por efectos de un mayor control en la calidad y disponibilidad de recuperación para la molienda de crudo, se lo utiliza en un 70 %.

El transporte del material pre homogenizado se lo realiza a través de una cadena con paletas a la cual cae mediante el accionamiento de un rascador y deposita el material en una tolva y esta a su vez le transfiere a las bandas. El consumo específico es de 0,53 kilovatios hora por tonelada métrica.



Figura 2.2. Imagen del Prehomogenizador y Parque de calizas trituradas
Fuente: Propia

2.1.3 Molienda de crudo

En esta etapa del proceso se dosifica y prepara la materia prima de acuerdo a los requerimientos físico-químicos para la elaboración del clinker de cemento. Se realiza la molienda hasta una finura tal que el retenido en el tamiz de 200 ASTM (75 micras) sea menor al 15 %, con una humedad del producto inferior al 0,5 %.

El equipo principal de esta etapa es el molino de bolas; de tipo horizontal, consta de un tubo de acero de 3,96 m de diámetro y una longitud de 7,93 m dividido en dos cámaras de molienda, que con el blindaje adecuado y la carga necesaria tiene una capacidad de producción de 90 toneladas métricas por hora; es accionado por

un motor de 2500 HP, con un consumo específico de 34,7 kilovatios hora por tonelada métrica, está diseñado para trabajar 6 días por semana y 24 horas al día.

Una función adicional en la etapa de la molienda de crudo es evaporar el contenido de agua en la materia prima, y se lo realiza en la cámara de secado utilizando para ello, el efecto los gases provenientes de la torre de precalentador del horno rotativo. El molino tiene un diseño de descarga central lo cual permite disponer de dos entradas simultáneas a las dos cámaras de molienda; tanto para los gases calientes para el secado, cuanto para el material de alimentación. A la primera cámara se alimenta material desde los dosificadores y a la segunda el material procedente de la recirculación de gruesos provocados por el separador de aire.

El aire de barrido del molino es manejado por un ventilador de tiro accionado por un motor eléctrico de 800 HP y los gases son filtrados mediante colectores ciclónicos en serie.



Figura 2.3. Imagen del Molino de Crudo
Fuente: Propia



2.1.4 Homogenización

El producto de la molienda de crudo es transportado por aerodeslizadores hasta dos silos de homogeneización, que tienen una capacidad de 2340 m³ en total. Tienen la función de realizar la mezcla de la harina cruda para mejorar la homogeneidad del material. Este trabajo se lo realiza mediante la inyección de aire comprimido a impulsos para generar un movimiento interno del polvo.

El aire comprimido es generado por un compresor de aletas rotativas con una capacidad de 3000 m³/h a 2 Kg/cm² de presión y es distribuido adecuadamente por un sistema de lanza de aire rotativo.

Una vez completada la homogenización y comprobadas las variables de calidad, el material está listo para alimentar al horno y es trasladado a los silos de almacenamiento que están por debajo de los primeros, con una capacidad total de 4540 m³.

La dosificación al horno es controlada desde el panel central en función de determinadas variables del proceso; lo cual se realiza mediante una banda dosificadora que recibe el material desde una caja de despresurización y descarga en un sistema de transporte neumático que impulsa el material hasta el precalentador del horno.



Figura 2.4. Imagen de los Silos de Homogenización y Almacenamiento de crudo
Fuente: Propia

2.1.5 Clinkerización y Enfriamiento

Es la etapa fundamental del proceso de fabricación de cemento, en la cual, la harina cruda homogenizada reacciona químicamente a temperaturas entre 300 y 1500 grados centígrados para dar lugar a la formación del clinker de cemento.

Esta etapa consta con los siguientes equipos:

2.1.5.1 Horno Rotativo

El equipo principal es el horno rotativo, que tiene una capacidad de producción de 1.100 toneladas métricas por día de clinker de cemento, a una temperatura de descarga de 65 °C sobre la temperatura ambiente. El horno es un tubo de acero de 4,11 m de diámetro y 57,91 m de longitud, revestido interiormente con material refractario, que apoya en tres bases con aros y rodillos que permiten el movimiento y accionado por un motor de 250 HP de velocidad variable.

En el proceso de clinkerización el material crudo procedente de los silos de almacenamiento es inyectado al ducto de salida de los gases de la segunda etapa del precalentador.



Figura 2.5. Imagen del Horno Rotativo para producción de clínker
Fuente: Propia

2.1.5.2 Precalentador

Consta de 4 etapas de ciclones instalados en serie, la etapa 4 está ubicada a la boca de alimentación del horno; la etapa 1 consta de dos ciclones en paralelo a cuya salida de gases se encuentra el ventilador de tiro del precalentador que es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable con una potencia de 1250 HP. El tipo de motor con velocidad variable permite disponer de un caudal de aire adecuado para satisfacer los diferentes requerimientos de la alimentación, garantizando una atmósfera estable en el proceso de clinkerización del material en el tubo del horno.

El precalentador actúa como un intercambiador de calor entre los gases resultantes de la combustión del horno y el material pulverizado de alimentación. La otra función que desempeña el precalentador es el de colector estático ya que impide que el material sea arrastrado conjuntamente con los gases.

En el funcionamiento a plena capacidad, esto es con una alimentación estable alrededor de 75 toneladas métricas por hora, el material crudo incrementa su temperatura en aproximadamente 800 °C; y la temperatura de los gases desciende hasta llegar a los 300 °C. El material al incrementar su temperatura mientras desciende por el precalentador, comienza su proceso de transformación química, la temperatura máxima alcanzada en el horno rotativo depende de las características del material y del tipo de clinker de cemento que se está produciendo. Actúan como elemento fundente para llegar a la fase líquida el hierro (Fe); disminuyendo el tiempo de reacción del silicio (Si) y calcio (Ca), a la vez que bajan la temperatura necesaria para que se produzca la clinkerización, que para nuestro caso es de alrededor de los 1400 °C.

2.1.5.3 Enfriador

El enfriamiento es una parte importante del proceso de clinkerización, se realiza en el enfriador Polysius, que consta de un parrillado metálico que produce la descarga del material enfriado mediante la transferencia de temperatura por la inyección de aire frío con 4 ventiladores. A la salida del enfriador se encuentra el triturador de clinker que permite descargar un producto con una granulometría menor a 25 mm.

El aire necesario para la combustión proviene del intercambio de calor entre el clinker y el aire de los ventiladores y está siempre entre los 800 y 1000 °C; permite que se produzca el proceso de cocción, utilizando como combustible crudo reducido de petróleo equivalente a un Fuel oil # 6 americano.

2.1.5.4 Caldero

El caldero permite la dosificación y manipulación del combustible, que calienta el residuo de temperatura ambiente a la temperatura de inflamación (110 °C) mediante la transferencia de calor utilizando aceite térmico.

El aire del enfriador que no es utilizado para la combustión en el horno es evacuado mediante un ventilador de compensación. El consumo específico de energía de esta área es de 35 kilovatios hora por tonelada métrica de clinker producido y un consumo calorífico de 840 Kilocalorías por kilogramo de clinker.

2.1.6 Molienda de Cemento

La molienda de cemento o acabado es la parte final del proceso de fabricación. En esta área se dosifican y muelen el clinker, yeso y puzolana para producir el cemento de acuerdo a las especificaciones contempladas en las Normas, en este caso la INEN 490.

Esta de etapa del proceso de fabricación consta principalmente de 3 equipos que son:

- Secador de Puzolana
- Equipo de Premolienda
- Molino de Cemento

2.1.6.1 Secador de Puzolana

El secador permite una disminución de la humedad de la puzolana del 15 % al 3% en promedio, permitiendo así un mayor porcentaje de adición de puzolana, debido a la eliminación del 10% de agua adherida a la puzolana, humedad que produce obstrucciones en las grillas de los diafragmas de las cámaras de molienda. De esta manera se puede mejorar los indicadores de producción del proceso de molienda de cemento.

2.1.6.2 Equipo de Premolienda

Este equipo se alimenta del material dosificado (72% clinker, 25% puzolana, 3% yeso), todos los agregados ingresan a la trituradora y serán pre triturados juntos hasta obtener un tamaño de grano menor a 6mm, lo que permitirá un aumento de producción y una reducción del consumo específico en el molino de cemento.

2.1.6.3 Molino de Cemento

El equipo principal es el molino de bolas, marca FULLER Co, con un diámetro de 3,66m y una longitud total de 11,28m, es de tipo horizontal dividido en dos cámaras: la primera de 3,66m de longitud en la que se realiza la molienda gruesa y la segunda de 7,62m en la que se realiza la molienda fina.

El molino tiene un diseño con descarga axial, es accionado por un motor eléctrico de 3000HP con una garantía de producción de 60 TMPH de cemento, con una superficie específica media de 4300 cm²/g (Blaine). La clasificación del producto se realiza mediante un circuito dinámico con un separador de partículas por aire marca F.L. Smidth, modelo OSEPA.



Figura 2.6. Imagen del Molino de Bolas para cemento
Fuente: Propia

2.1.7 Empaque y despacho del material

Para la venta de cemento a los consumidores, se dispone de un área totalmente moderna en la que se encuentran instaladas dos ensacadoras rotativas marca Haver Boecker con 8 bocas cada una y una capacidad de enfundar 2000 sacos/hora por máquina. Cada una de estas ensacadoras están alimentadas con sus respectivos aplicadores RADIMATIC, que son servomecanismos automáticos que permiten un flujo continuo y estable en la emisión de sacos. Paralelamente para el despacho a granel se dispone de dos sistemas de alimentación para carros cisterna.

El respectivo control en el despacho relacionado con la variable de peso ($50 \pm 0,5$ kg/saco), se lo realiza a la salida del vehículo de transporte por dos modernas básculas electrónicas de 80 toneladas de capacidad y certificadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización



Figura 2.7. Imagen del Sistema de Empaque de cemento
Fuente: Propia

2.2 PRE MOLIENDA DE CEMENTO

2.2.1 Equipo de pre molienda

Objetivo general

El objetivo general es mejorar los indicadores de producción del proceso de molienda de cemento, gracias a un aumento de producción de mínimo 15% y una reducción del consumo específico en el molino del mínimo 10%(Kwh/t).

Objetivo Especifico

El objetivo específico es preparar los materiales para la alimentación del molino de cemento con el fin de conseguir una mezcla homogénea de partículas con un tamaño inferior a 6mm.

El sistema de Pre-molienda para la producción de cemento puzolánico IP con una capacidad de 150 t/h, deberá preparar la mezcla con 72% de clinker, 25% de puzolana y 3% de yeso que van a ser alimentados al molino de bolas con un tamaño de partícula menor a 6 mm, el equipo que realizara esta operación tiene las siguientes características:

DESCRIPCIÓN	VALORES	UNIDADES
Marca	Magotteaux	
Capacidad de mmolienda	150	th
Modelo	Mag Impact II	
Potencia del motor	260	kw
Voltaje de alimentacion	460	Voltios
Corriente nominal del motor	382	A

Tabla 2.1. Descripción del equipo de pre molienda
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

El sistema comienza en las zonas de almacenamiento de puzolana, clinker y yeso respectivamente. Luego se transporta el material por medio de las bandas dosificadoras, hacia la banda principal donde la mezcla de materiales es dirigido hacia el elevador de cangilones, donde el material es elevado y posteriormente clasificado, luego el material pasa a la tolva, para ser dirigido hacia el triturador, una vez triturado finalmente se dirige hacia el molino de bolas por medio de la banda transportadora.



Figura 2.8. Imagen del Sistema de Premolienda de Clíinker
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

Triturador

Se alimenta del material dosificado (72% clinker, 25% puzolana, 3% yeso), todos los agregados ingresan a la trituradora y serán pre triturados juntos hasta obtener un tamaño de grano menor a 6mm.

El material de alimentación es triturado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de martillos/barras fijados al rotor. Las partículas resultantes son posteriormente re-trituradas dentro de la trituradora al chocar contra las piezas de la trituradora y entre sí mismas, produciendo un producto más fino y con mejor formato.

Todas las trituradoras tienen una tasa de reducción limitada, lo que significa que la reducción de tamaño se hace por etapas.

2.2.2 Materia Primas

Las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento en Compañía industrias Guapán son las siguientes: Clinker, yeso y puzolana, las cuales y de acuerdo al tipo de cemento que se va a producir, son analizadas, tratadas, dosificadas y controladas en este sistema.

2.2.2.1 Clinker

Es un producto de las reacciones físicas y químicas de los componentes calcáreos y arcillosos que están presentes en los crudos que son tratados en los hornos de las fábricas de cemento a temperaturas entre 300 y 2500 grados centígrados. Estos interactúan en el horno rotatorio para dar lugar al clinker, compuesto básico que aporta los llamados compuestos potenciales al cemento conocidos como: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, ferro aluminato tetracálcico, responsables de las propiedades de resistencia y trabajabilidad del cemento.

El silicato tricálcico de fórmula $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, conocido también en la industria cementera con la abreviación C_3S o alita, es la fase principal en la mayoría de los clínkeres Portland y de ella dependen en buena parte las características de desarrollo de resistencia mecánica; el silicato tricálcico endurece más rápidamente y por tanto tiene mayor influencia en el tiempo de fraguado y en la resistencia inicial de los cementos.

Además, se ha podido observar en la práctica que los clínkeres Portland con mayores contenidos de alita, son más fáciles de moler.

2.2.2.2 Yeso

Es un compuesto que se encuentra en la naturaleza en forma de sulfato de calcio di hidratado, que se adiciona al clinker en el molino de cemento en un 3 al 4 % en masa. Le confiere al cemento un efecto retardante en las condiciones de fraguado.

El yeso es generalmente agregado al clinker para regular el fraguado. Su presencia hace que el fraguado inicie aproximadamente en 45 minutos. El yeso reacciona con el aluminato tricálcico para formar una sal expansiva llamada etringita.

2.2.2.3 Puzolana

Constituye un material silíceo o silico-aluminoso, el cual por sí mismo posee muy poco o ningún valor cementante, pero que, en forma finamente dividida y en mezcla con el cemento reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes. Su adición a la molienda de cemento permite además de aportar resistencia al cemento a edades sobre los 14 días, reducir el efecto nocivo que por la presencia de cal libre en el clinker pudiera presentarse.

Propiedades físicas y químicas

La actividad puzolánica se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana se puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción.

Puzolana + Cal + Agua \rightarrow Silicatos y Aluminatos de Calcio hidratados.

La actividad puzolánica depende: de la naturaleza y proporción de las fases activas presentes en la puzolana (composición mineralógica), de la relación cal – puzolana de la mezcla, de la finura (o superficie específica) de la puzolana y de la temperatura de la reacción. Los productos de reacción puzolana/cal generalmente son del mismo tipo que los productos de hidratación del Cemento Pórtland: Silicatos Cálcicos Hidratados, Aluminatos Cálcicos Hidratados y Sílico - Aluminatos Cálcicos Hidratados.

La Norma INEN 490, permite hasta un 15% en masa de material puzolánico para cemento Portland Puzolánico tipo I PM y hasta un 40 % para cemento Portland Puzolánico tipo IP.



2.3 SECADO DE PUZOLANA

2.3.1 Equipo de Secado de Pozolana

Objetivo General

El objetivo general del proyecto es el mejoramiento de los indicadores de producción del proceso de molienda de cemento, gracias a un aumento en la adición de puzolana hasta llegar al 27% y con un incremento en la producción del 5% por la eliminación del 10% de agua adherida a la puzolana, humedad que produce obstrucciones en las grillas de los diafragmas de las cámaras de molienda.

Objetivo Especifico

El objetivo específico es preparar 30 toneladas por hora de puzolana como aditivo de molienda de cemento con un contenido máximo de 4% de humedad a una temperatura menor a 80°C y de forma permanente para el proceso de producción continuo de cemento.

El secador de puzolana tiene la siguiente característica:

Secador, G204

DESCRIPCION	VALORES	UNIDADES
Marca	ALLGAIER	
Capacidad de Molienda	30	th
Modelo	MOZER TT140/13 A SO	
Humedad inicial	15	%
Humedad final	4	%
Temperatura de gases	130 - 150	°C
Temperatura de material	66 - 75	°C
Potencia del motor	37	Kw
Voltaje de alimentación	460	Voltios
Corriente nominal del motor	59	A

Tabla 2.2. Descripción del Secador, G204
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

Quemador, G204

DESCRIPCION	VALORES	UNIDADES
Marca	SAACKE	
Modelo	CC 50	
Capacidad	40,700	kJ/kg
Temperatura	700	°C
Consumo	445	kg/h
Caudal	8,800	m ³ /h
Ventilador Aire Primario	13,310	m ³ /h
Presión	42,3	mBar
Potencia	30,9	kw
Corriente	51,3	A
Ventilador Fluidización	15,882	m ³ /h
Presión	22,2	mBar
Potencia	13	kw
Corriente	32,9	A

Tabla 2.3. Descripción del Quemador, G204
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

La adición de puzolana en mayor cantidad permitirá importantes reducciones de clinker en la mezcla para la obtención de cemento; lo que se ve reflejado en la reducción del gasto energético, aumento de variedades en el cemento, calidad, dependencia en menor grado de las materias primas, etc. Así como otras ventajas.

Para poder llevar a cabo dicho proceso es necesario reducir el porcentaje de humedad contenido en la puzolana; mediante el sistema de secado que permitirá obtener la cantidad de humedad necesaria en la mezcla del cemento.



Figura 2.9. Imagen del Sistema de Secado de Puzolana Compañía Industrias Guapán S.A.
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

2.4 RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO

En una planta de producción de cemento es fundamental relacionar la producción del molino con el consumo específico de energía eléctrica, cuyo proceso genera

uno de los mayores costos operativos, en función de lograr la rentabilidad que satisfaga a los intereses de las empresa y de los clientes, mediante la entrega de un producto que cumpla con las expectativas de los consumidores en cuanto a su calidad y precio.

En la Compañía Industrias Guapán se toman en consideración los siguientes factores para medir el rendimiento del sistema:

- Número de horas trabajadas
- Toneladas producidas
- Consumo de energía eléctrica

Con el uso de los datos que se proporcionan a través de los departamentos de Producción y Mantenimiento eléctrico, se calculan los rendimientos de la siguiente manera:

$$\textbf{RENDIMIENTO 1} = \frac{\textit{toneladas producidas}}{\textit{horas trabajadas}} t/h$$

$$\textbf{RENDIMIENTO 2} = \frac{\frac{\textit{consumo de energía}}{\textit{horas trabajadas}}}{\textbf{RENDIMIENTO 1}} = Kw - h/t \textit{ cemento}$$

La unidad de tiempo que se maneja en el área de producción para evaluar el rendimiento es diaria y mensual y en comparación con el histórico que reposa en los archivos de la Gerencia de Producción.

- **Datos Informativos:**

Área: Molienda de cemento

Presupuesto de producción: para el mes de julio del 2013: 40.693 toneladas

Presupuesto de consumo de energía: 1.510.991 KW

Horas presupuestadas: 696

- **Datos Observados:**

Área: Molienda de cemento

Producción mensual: mes de julio del 2013: 40923 Toneladas

Horas trabajadas: 606

Consumo de energía: 1691273KW

“Dato histórico de consumo de energía: 1598399,32 KW correspondiente al mes de abril del año 2010, con una producción de 40838 toneladas de cemento y 696 horas trabajadas”.

- **Cálculo de rendimientos**

Datos informativos vs datos observados

$$R1(i) = \frac{40693}{696} = 58,46t/h$$

$$R1(o) = \frac{40923}{606} = 67,52t/h$$

$$R2(i) = \frac{\frac{1510991}{696}}{58,46} = 37,13KWh/t$$

$$R2(o) = \frac{\frac{1691273}{606}}{67,52} = 41,33KWh/t$$

Datos observados vs Dato histórico

$$R1(o) = \frac{40923}{606} = 67,52t/h \quad R1(h) = \frac{40838}{696} = 58,7t/h$$

$$R2(o) = \frac{\frac{1691273}{606}}{67,52} = 41,33KWh/t \quad R2(h) = \frac{\frac{1598399,32}{696}}{58,7} = 39,12KWh/t$$

Informativo: Marzo 2013 (sin secador y pre molienda) vs Julio 2013 (Con secador y pre molienda)

$$R1(Mar) = \frac{40048}{696} = 57,54t/h \quad R1(Jul) = \frac{40693}{696} = 58,46t/h$$

$$R2(Mar) = \frac{\frac{1632762}{696}}{57,54} = 40,77KWh/t \quad R2(Jul) = \frac{\frac{1510991}{696}}{58,46} = 37,13KWh/t$$

A continuación se expone un cuadro resumen de los cálculos de consumo energético

CALCULOS DE RENDIMIENTO DE CONSUMO ENERGÉTICO							
Rendimiento 1=	toneladas producidas/horas trabajadas=t/h			Rendimiento 2=	(consumo de energía/horas trabajadas)/Rendimiento 1= Kw-h/t cemento		
Descripción	Mes						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Datos Informativos							
Presupuesto Producción (t)	37564,00	33250,00	40048,00	30233,00	42429,00	41597,00	40693,00
Presupuesto Consumo Energía (Kw)	1528015,00	1311572,00	1632762,00	1210608,00	1563927,00	1543643,00	1510991,00
Horas Presupuestadas	696,00	696,00	696,00	696,00	696,00	696,00	696,00
Rendimiento 1	53,97	47,77	57,54	43,44	60,96	59,77	58,47
Rendimiento 2	40,68	39,45	40,77	40,04	36,86	37,11	37,13
Datos Observados							
Producción Mensual (t)							40923,00
Consumo de Energía (Kw)							1691273,00
Horas Trabajadas							606,00
Rendimiento 1							67,53
Rendimiento 2							41,33
Dato Histórico							
Producción Mensual (t)	40838,00	40838,00	40838,00	40838,00	40838,00	40838,00	40838,00
Consumo de Energía (Kw)	1598399,32	1598399,32	1598399,32	1598399,32	1598399,32	1598399,32	1598399,32
Horas Trabajadas	696,00	696,00	696,00	696,00	696,00	696,00	696,00
Rendimiento 1	58,68	58,68	58,68	58,68	58,68	58,68	58,68
Rendimiento 2	39,14	39,14	39,14	39,14	39,14	39,14	39,14

Tabla 2.4. Cálculos de Rendimiento de Consumo Energético
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

CAPITULO III: ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP PRODUCIDO CON LOS SISTEMAS DE PRE MOLIENDA Y SECADO DE PUZOLANA

3.1 OBJETIVOS

La implementación de los sistemas de premolienda y secado de puzolana, se realizó con la finalidad de aumentar el rendimiento del molino de cemento así como disminuir el consumo energético del mismo, el secador de puzolana deberá permitir una disminución de la humedad y una mayor adición de puzolana, mientras que el sistema de premolienda permitirá una disminución del tamaño del grano, el cual debe ser menor a 6mm, antes de la entrada al molino de cemento.

Estos sistemas no deben influir en la calidad final del cemento, por lo que el objetivo de este capítulo será realizar los estudios físicos-químicos que comprueben que el cemento final cumple con las características expuestas por la Norma NTE INEN 490.

De igual manera se realizara un análisis de comparación en la calidad del cemento antes de la implementación de los nuevos sistemas, como después de la implementación, pudiendo observar si se mejoró la calidad final del cemento.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD

El cemento que actualmente se produce es Portland Puzolánico Tipo IP el cual presenta las siguientes especificaciones.

- Blaine: mínimo 4000
- Resistencia a la compresión:

Mínimo:

- 13,0 MPa a los 3 días
 - 20,0 Mpa a los 7 días
 - 25,0 Mpa a los 28 días

- Finura: tamiz 325 ASTM (45 micras) : 3 - 4 % retenido

- Cal libre: máximo 2 %

- Expansión en autoclave: máximo 0,8 %

- Fraguados:
 - Inicial: mínimo 45 minutos
 - Final: máximo 420 minutos

- Falso fraguado: mínimo 50 %

- Pérdidas al fuego: máximo 5 %

- Oxido de magnesio: máximo 5 %

- Trióxido de azufre: máximo 4%

El sistema de secado de puzolana y premolienda de cemento implican mejorar estas propiedades, ya que así será posible incrementar el porcentaje de adición de puzolana en la composición del cemento, como disminuir el tamaño de partícula antes de ingresar al molino de cemento, con lo que se espera tener un mayor rendimiento y mejorar las características del cemento.

3.3 PRUEBAS Y ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS E INSTRUMENTAL

En toda fábrica de cemento es indispensable realizar el control de calidad de sus productos, a través de análisis físicos-químicos e instrumentales los cuales están descritos en el Manual de Procedimientos empleados por el Departamento de Calidad de la Compañía Industrias Guapán S.A., los cuales a su vez, están basados en las normas ecuatorianas -INEN- para la fabricación de cemento Portland Puzolánico Tipo IP.

Nosotros realizaremos el análisis a las diferentes materias primas como al producto final. Para realizar el análisis de una muestra en el laboratorio primero procedemos a la toma y preparación de la misma, la cual está basada en el manual de procedimientos elaborado por el Departamento de Calidad el cual a su vez está basado en la norma NTE INEN 153:09 para cemento hidráulico: muestreo y ensayos, desarrollada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (Ver anexo 1).

Los análisis físicos-químicos e instrumentales realizados en el laboratorio son:

- Curvas Granulométricas
- Humedades
- Densidades
- Retenido tamiz 325
- Blaine
- Fluorescencia de rayos X
- Difractometría de rayos X

3.3.1 Curvas Granulométricas

El análisis granulométrico consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que forman un material, o sea, en separar al material en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, o de tamaños comprendidos dentro de determinados límites y en hallar el porcentaje que en cada uno de estos.

El estudio de la distribución por tamaños se hace cribándolo a través de una serie de tamices normalizados y que pueden corresponder a las series: internacional ISO, americanas Tyler o ASTM y viendo la cantidad que queda retenida en cada uno de ellos.

La relación entre el peso retenido por cada tamiz con respecto al peso total de la muestra, nos da el porcentaje retenido parcial por ese tamiz. Sin embargo, a efecto de ajuste de curvas granulométricas se utilizan los porcentajes retenidos acumulados por cada uno de los tamices y que serían los que retendrían cada uno de ellos en el caso en que no existiesen por encima de él ninguno de abertura mayor.

Hallando las diferencias a 100, de estos tantos por ciento retenidos acumulados, se obtienen los porcentajes que pasan acumulados, indicando estos, no lo retenido por un tamiz, sino por el contrario, la fracción total que pasa por él.

3.3.1.1 Curva Granulométrica de Puzolana

Las características de las puzolanas provienen de su granulometría o estado de subdivisión, tienen formas muy diversas y sus dimensiones varían de acuerdo a su naturaleza y estructura; pero habitualmente son materiales muy finos y de menor densidad que el clinker portland. Las puzolanas son generalmente molidas muy finas y son tanto más eficaces cuanto más rápidamente pueden fijar una fuerte proporción de cal

Para determinar la granulometría de la puzolana se utiliza un juego de ocho tamices, se realizó la curva granulométrica de la puzolana antes de ingresar al secador de puzolana, como a la salida del mismo.

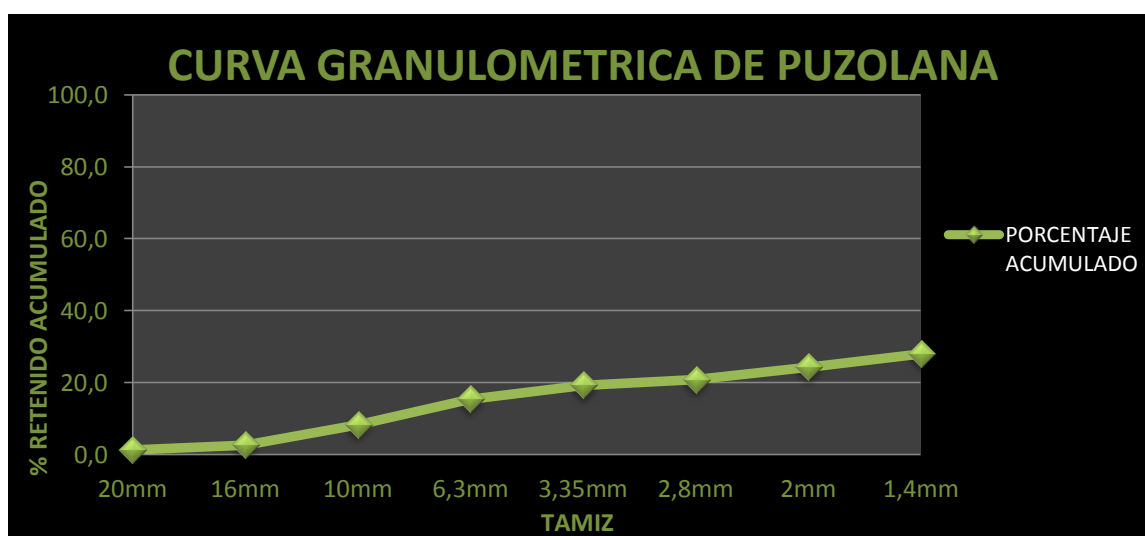
Para la primera curva granulométrica, que corresponde a la puzolana tomada del Hall antes de ingresar al secador, se tomó un peso neto de muestra equivalente a

8.6Kg, y una serie de 8 tamices ASTM, teniendo los siguientes resultados: (procedimiento ver anexo 2).

GRANULOMETRIA DE PUZOLANDA TOMADA DEL HALL					
# ABERT TAMIZ (mm)	PESO BRUTO (Kg)	PESO TAMIZ (Kg)	PESO NETO (Kg)	% RETENIDO	% ACUMULADO
20	2.43	2.32	0.11	1.28	1.28
16	2.39	2.28	0.11	1.28	2.56
10	2.89	2.41	0.48	5.58	8.14
6.3	3.63	3.01	0.62	7.21	15.35
3.35			0.33	3.84	19.19
2.8			0.14	1.63	20.81
2			0.295	3.43	24.24
1.4			0.32	3.72	27.97

Tabla 3.1. Granulometría de Puzolana tomada del Hall

Estos valores de granulometría nos dan la siguiente curva



Cuadro 3.1. Curva Granulométrica de muestra de Puzolana tomada en el Hall

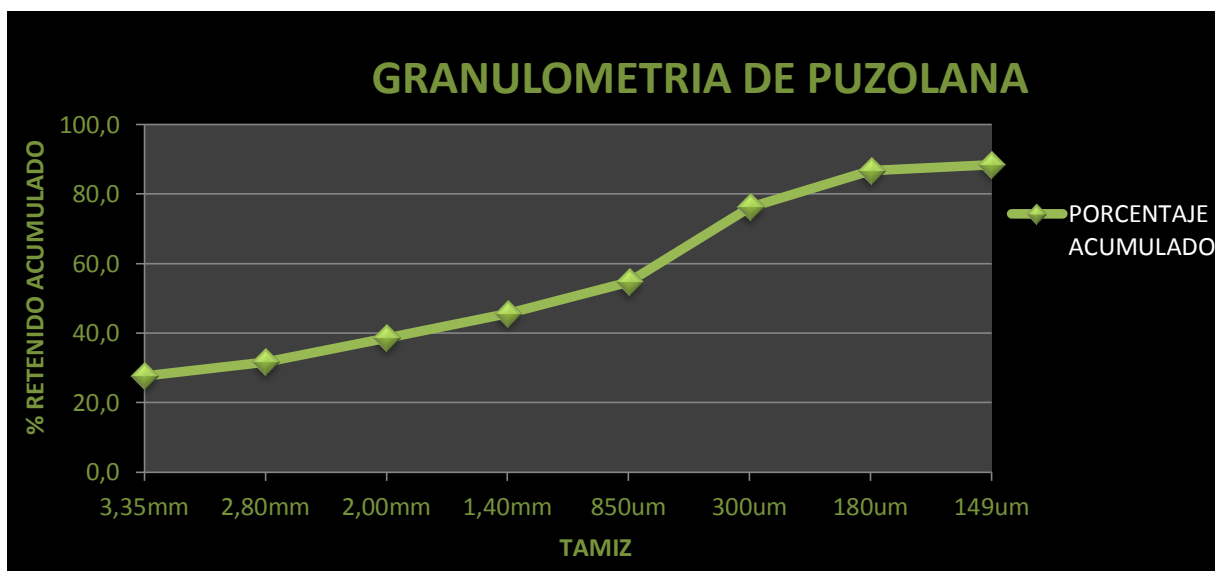
Luego tomamos puzolana a la salida del secador para ver la influencia del mismo en la granulometría del material, para realizar esta curva granulométrica variamos la abertura de los tamices, ya que en la curva granulométrica realizada anteriormente se pudo observar que el porcentaje de material acumulado en el último tamiz era apenas del 27,97%.

Así, para esta nueva curva granulométrica tomamos un peso neto de material de 1,239Kg, y una serie de 8 tamices ASTM, teniendo los siguientes resultados:

GRANULOMETRIA DE PUZOLANDA TOMADA A LA SALIDA DEL SECADOR			
# ABERT TAMIZ (mm)	PESO NETO (Kg)	% RETENIDO	% ACUMULADO
3.35	0.343	27.68	27.68
2.8	0.05	4.04	31.72
1.4	0.085	6.86	38.58
8	0.087	7.02	45.60
0.85	0.112	9.04	54.64
0.3	0.266	21.47	76.11
0.18	0.131	10.57	86.68
0.149	0.021	1.69	88.38

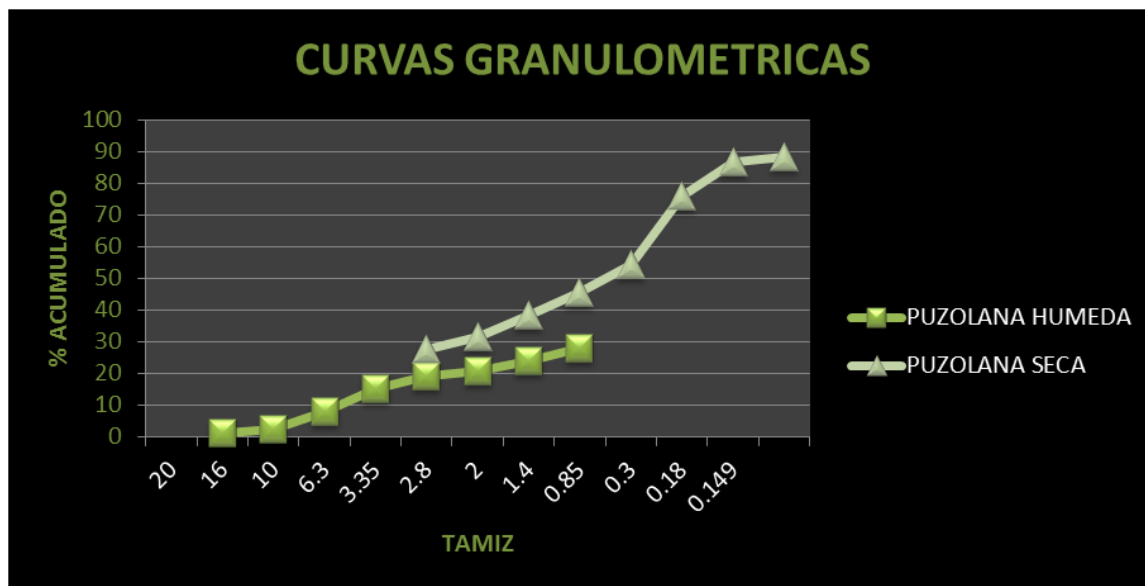
Tabla 3.2. Granulometría de Puzolana tomada a la salida del secador

Estos valores de granulometría nos dan la siguiente curva



Cuadro 3.2. Curva Granulométrica de Puzolana tomada a la salida del secador

Realizadas las dos curvas granulométricas las hemos juntado en un gráfico para poder observar las diferencia en la granulometría de la puzolana una vez que esta pasa por el secador.



Cuadro 3.3. Curvas Granulométricas de Puzolana tomada a la salida del secador y en el hall

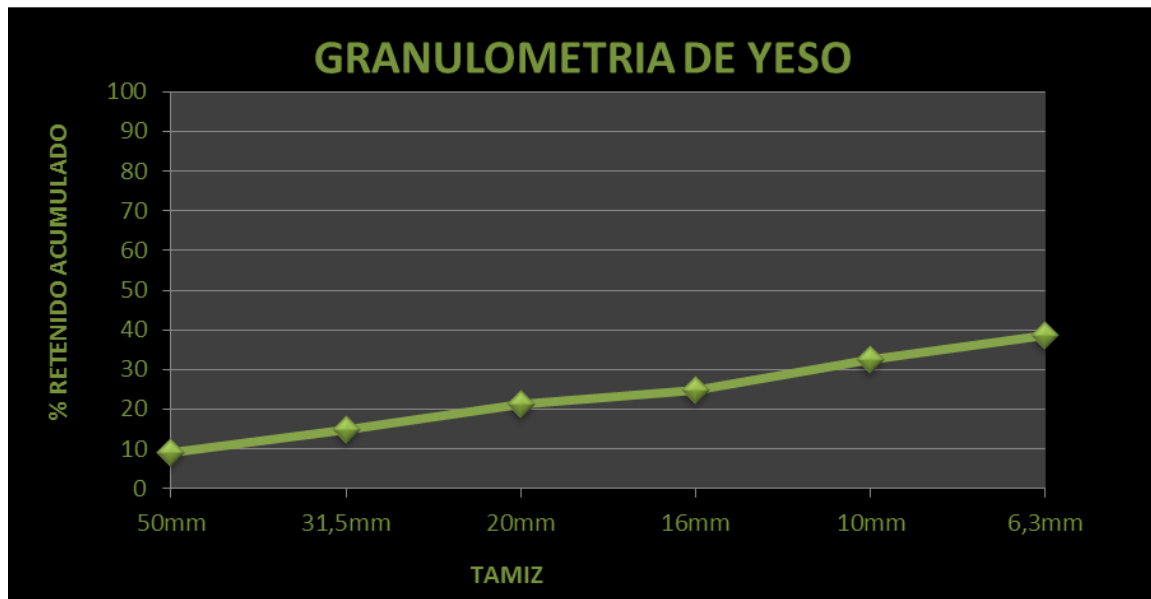
3.3.1.2 Curva Granulométrica de Yeso

Para realizarla la curva granulométrica del yeso seguimos el mismo procedimiento que se aplicó a la puzolana (anexo 2), siendo la única diferencia que para el yeso utilizamos una serie de 6 tamices ASTM en lugar de los 8 usados anteriormente, así tomando una muestra cuyo peso neto fue 9,490Kg, obtuvimos los siguientes resultados.

GRANULOMETRIA DE YESO					
# ABERT TAMIZ (mm)	PESO BRUTO (Kg)	PESO TAMIZ (Kg)	PESO NETO (Kg)	% RETENIDO	% ACUMULADO
50	2.97	2.12	0.85	8.96	8.96
31.5	2.77	2.21	0.56	5.90	14.86
20	2.94	2.32	0.62	6.53	21.39
16	2.61	2.28	0.33	3.48	24.87
10	3.13	2.41	0.72	7.59	32.46
6.3	3.61	3.01	0.6	6.32	38.78

Tabla 3.3. Granulometría de Yeso

Con estos datos de granulometría obtuvimos la siguiente curva:



Cuadro 3.4. Curvas Granulométricas de Yeso

Observando que la cantidad de material que pasa por el ultimo tamiz corresponde al 61.22%

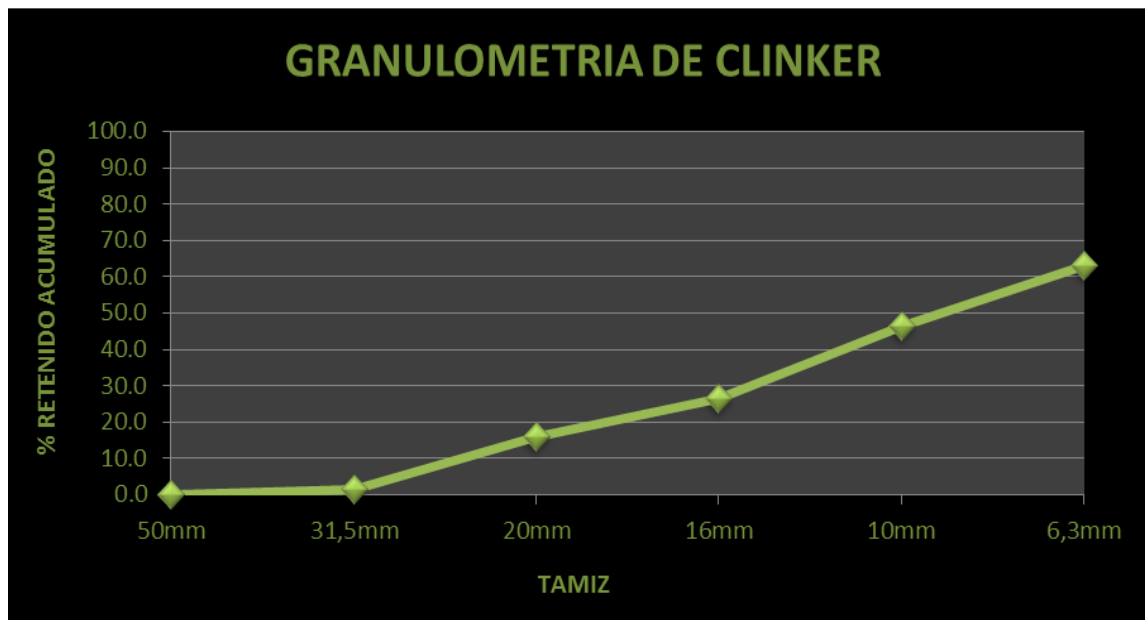
3.3.1.3 Curva Granulométrica de Clinker

El procedimiento a seguir para poder realizar la curva granulométrica del clinker será el mismo procedimiento que se aplicó a la puzolana (anexo 2), siendo la única diferencia que para el clinker utilizamos una serie de 6 tamices AST, así tomando una muestra cuyo peso neto fue 6,28Kg, obtuvimos los siguientes resultados.

GRANULOMETRIA DE CLINKER					
# ABERT TAMIZ (mm)	PESO BRUTO (Kg)	PESO TAMIZ (Kg)	PESO NETO (Kg)	% RETENIDO	% ACUMULADO
50	2.12	2.12	0	0.00	0.00
31.5	2.31	2.21	0.1	1.63	1.63
20	3.2	2.32	0.88	14.36	15.99
16	2.93	2.28	0.65	10.60	26.59
10	3.63	2.41	1.22	19.90	46.49
6.3	4.03	3.01	1.02	16.64	63.13

Tabla 3.4. Granulometría de muestra de clinker de alimentación a Premolienda

Estos datos de granulometría dan lugar a la siguiente curva



Cuadro 3.5. Curva Granulométrica de muestra de clínker de alimentación a Premolienda

El porcentaje de material acumulado en el último tamiz corresponde al 63.13%

Estas curvas granulométricas nos da el siguiente resumen de los valores de granulometrías en % Acumulado, estos valores son antes de ingresar al sistema de pre molienda

MATERIAL	ABERT TAMIZ (mm)	% ACUMULADO RETENIDO
Puzolana	0.149	88.38
Yeso	6.3	38.78
Clinker	6.3	63.13

Tabla 3.5. Resumen de % Acumulado de los diferentes materiales

Con estos valores nos podemos dar cuenta que el material más grueso que ingresa al sistema de pre molienda es el Clinker.

3.3.1.4 Curva Granulométrica del Material de Pre Molienda

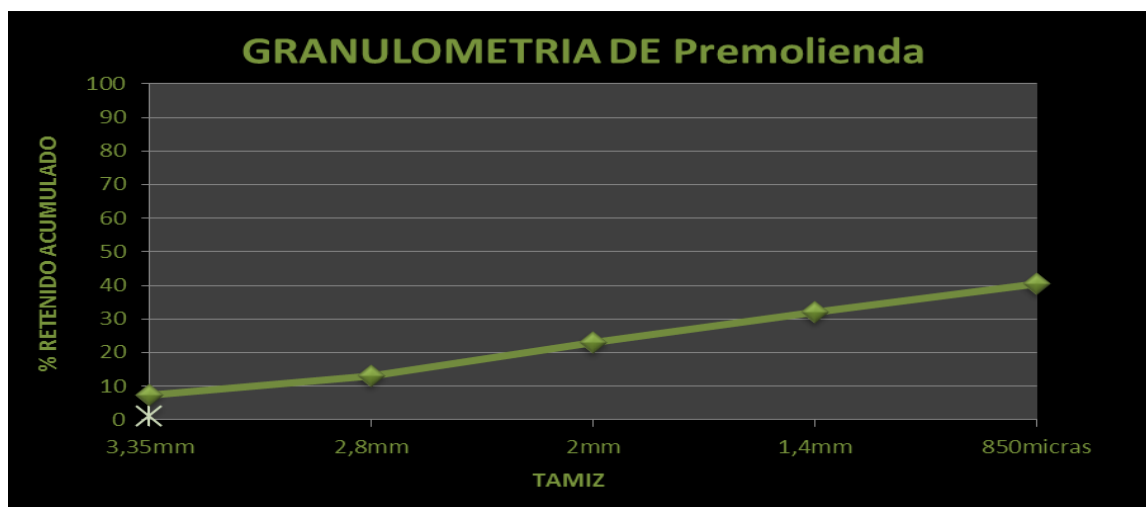
En el sistema de pre molienda ingresan los tres materiales puzolana, yeso y Clinker, estos materiales son reducidos en sus tamaños de partícula, por lo que es necesario realizar una curva granulométrica del material que sale del triturador de la premolienda y se dirige hacia el molino de cemento.

Para realizar la curva granulométrica del material que sale del triturador de la premolienda seguimos el mismo procedimiento que se aplicó a la puzolana (anexo3), para esta nueva curva utilizamos una serie de 5 tamices ASTM, para ello tomamos un peso neto de muestra de 2.978Kg, obteniendo los siguientes valores granulométricos.

GRANULOMETRIA DE PRE MOLIENDA			
# ABERT TAMIZ (mm)	PESO NETO (Kg)	% RETENIDO	% ACUMULADO
3.35	0.217	7.29	7.29
2.8	0.168	5.64	12.93
2	0.304	10.21	23.14
1.4	0.261	8.76	31.90
0.85	0.251	8.43	40.33

Tabla 3.6. Granulometría del producto de Premolienda

Estos valores granulométricos nos dan la siguiente curva:



Cuadro 3.6. Curva Granulométrica del producto de Premolienda

Como se puede apreciar en la curva el material se ha reducido considerablemente de tamaño indicándonos que el 100% del material tiene un tamaño de partícula inferior a 6mm.

3.3.2 Humedades

La determinación de la humedad higroscópica la aplicaremos a la puzolana, el yeso y al material que sale del triturador del sistema de pre molienda según el siguiente procedimiento (basado en la NTE INEN 862:2011):

Objetivo: Este instructivo tiene como propósito la determinación de la humedad higroscópica en las diferentes muestras que se requiere para la fabricación de cemento.

Alcance: Se podrá aplicar a muestras de caliza, materiales arcillosos, crudo, puzolana, yeso, cemento.

Definiciones:

Humedad Higroscópica: Se denomina humedad higroscópica a la cantidad de agua absorbida en una muestra expresada en porcentaje de su peso, cuando de seca a 105 °C.

Copelas Taradas: Recipiente que se utiliza para contener la muestra en la que se realiza el ensayo de la determinación de la humedad y que se encuentra determinado su peso.

Equipo Necesario:

- Copelas Taradas
- Estufa
- Cronómetro
- Plancha térmica
- Balanza

Instrucciones:

Se pesa una cantidad determinada de muestra en una copela previamente tarada. Se deseca la muestra en la plancha térmica que trabaja entre 150°C a 300°C durante 15 minutos, hasta peso constante. Se enfría la muestra y finalmente se pesa la muestra contenida en la copela.

Cálculos: Se calcula el porcentaje de agua (humedad) por diferencia de peso utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{po - pf}{po} \times 100$$

Dónde:

po: peso inicial.

pf: peso final.

3.3.2.1 Humedades de la Puzolana

Humedad de la Puzolana a la entrada del secador

La humedad de la puzolana puede variar desde un 3% hasta un 15% en términos promedio dependiendo del lugar, profundidad y de las condiciones climáticas en el momento de ser extraída. Además son de fácil molienda y se mejora esta propiedad cuando está completamente seca.

Para la determinación de la humedad de puzolana seguimos el procedimiento anteriormente descrito, aplicando la formula anterior calculamos el valor de varias muestras de puzolana descritas a continuación.

Ejemplo: Para el caso de la muestra de Puzolana “P1”, se tiene los valores:

po: 50g

pf: 40.18g

Aplicando la ecuación se tiene:

$$\% Humedad = \frac{p_o - p_f}{p_o} \times 100$$

$$\% Humedad = \frac{50 - 40.18}{50} \times 100$$

$$\% Humedad = 9.64\%$$

Los resultados de los análisis de esta prueba se muestran a continuación:

HUMEDAD PUZOLANA			
ID	Fecha	Hora	%Humedad
P1	02/04/2013	10:00	9.64
P2	23/04/2013	10:00	11.8
P3	24/04/2013	09:00	11
P4	24/04/2013	10:00	10.5
P5	24/04/2013	11:00	10.92
P6	24/04/2013	12:00	10.72
P7	24/04/2013	13:00	11.56
P8	25/04/2013	09:00	9.54
P9	29/04/2013	10:00	11.16
P10	29/04/2013	11:00	10.88
P11	29/04/2013	13:00	11
P12	29/04/2013	14:00	11
P13	01/05/2013	09:00	9.94
P14	01/05/2013	11:00	10.2
P15	01/05/2013	12:00	10.64
P16	02/05/2013	09:00	10.6
P17	02/05/2013	10:00	10.36
P18	03/05/2013	10:00	10.8
P19	03/05/2013	13:00	10.86
P20	06/05/2013	11:00	8.98
Promedio			10.605

Tabla 3.7. Humedades de la Puzolana tomada a la entrada del Secador

Estos valores nos dan un % de Humedad Promedio de 10.605%.

Humedad de la Puzolana a la salida del secador

El procedimiento a seguir es el mismo que se aplicó para la puzolana húmeda, para la determinación de estas humedades, tomamos las muestras a la salida del secador, siendo importante ver a que temperatura se encuentra la puzolana para poder analizar la influencia del secador en la humedad del material.

Ejemplo: Para el caso de la muestra de Puzolana “Ps1”, se tiene los valores:

po: 50g

pf: 49,3g

Aplicando la ecuación se tiene:

$$\% Humedad = \frac{po - pf}{po} \times 100$$

$$\% Humedad = \frac{50 - 49.3}{50} \times 100$$

$$\% Humedad = 1.4\%$$

Los resultados de los análisis de esta prueba se muestran a continuación:

HUMEDAD PUZOLANA				
ID	Fecha	Hora	Temperatura(°C)	%Humedad
Ps1	23/04/2013	10:00	58.4	1.4
Ps2	24/04/2013	09:00	48.7	1.9
Ps3	24/04/2013	10:00	53.5	2.04
Ps4	24/04/2013	11:00	46.5	2.92
Ps5	24/04/2013	12:00	43.7	2.6
Ps6	24/04/2013	13:00	45.3	2.6
Ps7	25/04/2013	09:00	47	1.92
Ps8	29/04/2013	10:00	47.5	2.34
Ps9	29/04/2013	11:00	50	2.12
Ps10	29/04/2013	13:00	46	2.62
Ps11	29/04/2013	14:00	48	2.32
Ps12	01/05/2013	09:00	51	1.8
Ps13	01/05/2013	11:00	50	2.04
Ps14	01/05/2013	12:00	51	2.26
Ps15	02/05/2013	09:00	53	4.14
Ps16	02/05/2013	10:00	63	2.3
Ps17	03/05/2013	10:00	66	2.2
Ps18	03/05/2013	13:00	40	3.3
Ps19	06/05/2013	11:00	44	3.8
Ps20	30/06/2013	10:00	52	1.8
PROMEDIO				2.421

Tabla 3.8. Humedades de la Puzolana tomada a la salida del Secador

El porcentaje de Humedad promedio es de 2.421%, pudiendo observar que la temperatura que alcanza el material dentro del secador es variable. Lo que no permite una uniformidad del sistema.

3.3.2.2 Humedades del Yeso

En la determinación de la humedad del yeso se tuvo lo siguiente:

Calculo: Muestra tomada el 3 de abril del 2013

po: 50g

pf: 47,19g

Aplicando la ecuación se tiene:

$$\% Humedad = \frac{po - pf}{po} \times 100$$
$$\% Humedad = \frac{50 - 47.19}{50} \times 100$$

$$\% Humedad = 5.62\%$$

3.3.2.3 Humedades del Material que sale del Triturador del Sistema de Premolienda

Al igual que se hizo para el análisis de la granulometría, una vez analizadas las humedades de los materiales que entran al triturador como son la puzolana, el yeso y el Clinker que sale del horno sin humedad, es de suma importancia realizar la humedad del material triturado que sale de este sistema y se dirige hacia el molino de cemento.

Para ello el procedimiento a seguir es el mismo que se ha venido aplicando tanto a puzolana como al yeso.

Teniendo el ejemplo de cálculo para la primera muestra

Ejemplo: Para el caso de la muestra “Ps1”, se tiene los valores:

po: 50g

pf: 49,3g

Aplicando la ecuación se tiene:

$$\% Humedad = \frac{po - pf}{po} \times 100$$
$$\% Humedad = \frac{50 - 49.3}{50} \times 100$$
$$\% Humedad = 1.4\%$$

Los resultados de los análisis de esta prueba se muestran a continuación:

HUMEDAD PREMOLIENDA				
ID	Fecha	Hora	Temp	%Humedad
Mix1	23/04/2013	10:00	51.3	1.4
Mix2	24/04/2013	09:00	43.5	1.12
Mix3	24/04/2013	10:00	64.5	0.8
Mix4	24/04/2013	11:00	58.4	1
Mix5	24/04/2013	12:00	63	1.12
Mix6	24/04/2013	13:00	60	1.04
Mix7	25/04/2013	09:00	46.3	1.42
Mix8	29/04/2013	10:00	53.5	1.64
Mix9	29/04/2013	11:00	53	1.42
Mix10	29/04/2013	13:00	50	1.88
Mix11	29/04/2013	14:00	55	1.32
Mix12	01/05/2013	09:00	Equipo de Premolienda no se encuentra en operación	
Mix13	01/05/2013	11:00		
Mix14	01/05/2013	12:00		
Mix15	02/05/2013	09:00	53	0.8
Mix16	02/05/2013	10:00	54	0.98
Mix17	03/05/2013	10:00	66.5	1.06
Mix18	03/05/2013	13:00	59	1.04
Mix19	06/05/2013	11:00	61	1.2
Mix20	03/06/2013	10:00	60	1.04
PROMEDIO				1.19

Tabla 3.9. Humedades del material que sale del Sistema de Pre molienda

3.3.3 Densidades

Procedimiento descrito en el Manual de Calidad de la Compañía Industrias Guapán S.A. con referencia a la Norma INEN.

Objetivo: Establecer la instrucción documentada para la determinación de la densidad aparente.

Alcance: Este procedimiento se aplica para la determinación de la densidad aparente en el Clinker, puzolana, yeso y el mix que sale del sistema de pre molienda.

Definiciones:

Densidad Aparente: La densidad aparente determina la cantidad de puzolana necesaria para ocupar un espacio.

Equipo:

- Balanza calibrada
- Recipiente de un litro

Instrucciones:

Se procede a colocar la muestra en un recipiente de un litro hasta rasar, pesamos en la balanza y restamos el peso del recipiente, teniendo así las siguientes densidades:

DENSIDADES APARENTES			
Material	Pf(g)	P (litro)	Densidad (Kg/m ³)
Puzolana Humeda	1718	1000	718
Puzolana Seca	1783	1000	783
Yeso	2315	1000	1315
Clinker	2590	1000	1590
Mix Premolienda	2403	1000	1403

Tabla 3.10. Densidades de puzolana, yeso, Clinker y mix de pre molienda

3.4 CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS Y NORMAS INEN

En Compañías Industrias Guapán, se sigue un riguroso control de calidad tanto a materias primas, como al producto terminado para garantizar así, un cemento de calidad a sus consumidores, es por esa razón que se ha empleado manuales de calidad basados en las Normas INEN.

En este punto iremos describiendo diferentes procesos aplicados tanto a materias primas como al producto final y señalando cuales son los requisitos que deben cumplir, así empezaremos por la Puzolana.

Puzolana

Las puzolanas tienen que cumplir con los siguientes requisitos físicos y químicos establecidos por la norma INEN:

Requisitos Físicos:

REQUISITO		UNIDAD	MIN	MAX
Superficie Específica		m ² /Kg	300	----
Indice de Actividad Puzolanica	Con Cemento Pórtland (28 días)	%	75	----
	Con cal (7 días)	Mpa	4	----
Consistencia de Volumen (Exp. Autoclave)		%	----	0.5

Tabla 3.11. Requisito Físicos de las Puzolanas
Fuente: Guamán-Piña, Sistema de Secado de Puzolana, (2007)

Requisitos Químicos:

Composición:

Elemento	% Sobre la masa
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	65
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	14
Óxido de Calcio (CaO)	5
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	4
Óxido de Potasio (K ₂ O)	3
Otros Óxidos	9

Tabla 3.12. Composición química de las Puzolanas
Fuente: http://www.puzolana.com.ar/que_es_la_puzolana.html (2012).

Requisitos:

REQUISITO	UNIDAD	MIN	MAX
Oxido de Mg Soluble Total	%	----	5
Trioxido de Azufre	%	----	3
Perdidas por Calcinacion	%	----	10

Tabla 3.13. Requisitos químicos de las Puzolanas
Fuente: Guamán-Piña, Sistema de Secado de Puzolana, (2007)

Determinación del Índice de Actividad Puzolánica por Difracción de Rayos X

Para este análisis utilizaremos la muestra triturada y molida en el vibro molino, secada y fría. Las muestras van a ser activadas a tres rangos distintos de temperaturas con el motivo de identificar la temperatura óptima de activación para la puzolana; así se activará a temperatura ambiente (20°C), a los 400°C, a 500°C y a los 600°C durante 30 minutos con cada una de las muestras luego se procederá a su análisis instrumental.

También realizaremos el análisis instrumental a varias muestras de puzolana tomadas antes de ingresar al secador, como a la salida del secador, el procedimiento a seguir se describe a continuación:

Se pesan aproximadamente 27g de muestra los cuales se introducen en crisoles de aleación oro – platino.

Las muestras son llevadas a activación, posteriormente a diferentes rangos de temperaturas (20°C, 400°C, 500°C y 600°C) por un lapso de tiempo de 30 minutos para cada una de las muestras en una mufla eléctrica.

Una vez transcurrido el tiempo de activación se retira la muestra de la mufla.

A continuación se deja enfriar la muestra y se procede a formar la pastilla probeta que será introducida en la cámara de lectura del difractómetro, para ello se toma la

célula polimérica y en su centro se coloca la cantidad suficiente de muestra como para cubrir totalmente la superficie superior de la célula, para finalmente enrasar y pulir la superficie de la muestra con una pedazo de vidrio asegurándose de apisonar lo suficiente la muestra para compactarla.

El último paso para concluir el análisis es colocar la probeta en el porta muestras del equipo, cerrar la compuerta y correr el software de análisis Bruker Phaser D2 para puzolanas.

El análisis es automático y tiene una duración de 6 minutos, luego de los cuales se obtiene el Difractograma (ver anexo 4) y los valores en porcentaje de la composición cristalina de cada compuesto analizado así como también su porcentaje de fase amorfa.

A continuación se muestran los valores obtenidos para cada una de las muestras luego del análisis instrumental por difracción de Rayos X, así como su valor de actividad puzolánica y el equipo de difracción de Rayos X.



Figura 3.1. Equipo de Difracción de Rayos X
Fuente: Propia

ID	MUESTRA-FECHAS	Quartz	Muscovite 2M1	Anorthite	Albite high K0.16	Calcite	Dolomite	Gypsum	Actinolite	CRISTALINA	AMORFO	ACTIVIDAD POR REGRESION
P1	PUZOLANA A TEMPERATURA NORMAL (05-04-2013)	3.572	6.584	0.415	54.489	6.062	3.639	6.252	18.987	20.3	79.7	89.11
P2	PUZOLANA A TEMPERATURA 600°C (05-04-2013)	6.343	3.162	0.144	51.62	5.894	0.553	4.477	27.808	20.7	79.3	88.96
P3	PUZOLANA A TEMPERATURA 500°C (05-04-2013)	4.324	3.745	0.13	50.736	7.065	1.523	3.581	28.897	19.31	80.69	89.50
P4	PUZOLANA A TEMPERATURA 400°C (05-04-2013)	9.866	5.237	0.14	48.628	7.367	2.543	2.557	23.662	21.01	78.99	88.84
P5	PUZOLANA ENTRADA AL SECADOR (24-04-2013)	4.678	3.722	0.107	70.468	1.189	2.501	4.371	12.964	20.25	79.75	89.13
P6	PUZOLANA ENTRADA AL SECADOR #2 (24-04-2013)	7.442	2.293	0.102	67.135	3.061	1.602	4.237	14.129	21.84	78.16	88.52
P7	PUZOLANA ENTRADA AL SECADOR (25-04-2013)	5.877	3.524	0.076	70.632	2.789	2.671	2.909	11.522	25.6	74.4	87.07
P8	PUZOLANA ENTRADA AL SECADOR 2 (25-04-2013)	6.796	2.717	0.087	69.047	2.122	2.716	3.311	13.205	23.33	76.67	87.94
P9	PUZOLANA ENTRADA DEL SECADOR (29-04-2013)	5.185	2.712	0.093	74.06	1.733	1.376	3.951	10.889	21.08	78.92	88.81
P10	PUZOLANA ENTRADA DEL SECADOR (30-04-2013)	4.338	2.931	0.101	55.673	6.232	1.17	2.867	26.688	33.31	66.69	84.09
P11	PUZOLANA ENTRADA DEL SECADOR (02-05-2013)	4.924	3.051	0.105	72.981	1.846	1.787	3.377	11.928	29.66	70.34	85.50
P12	PUZOLANA ENTRADA DEL SECADOR (05-05-2013)	3.078	2.997	0.12	52.193	11.31	1.598	4.052	24.655	22.45	77.55	88.28
P13	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR (23-04-2013)	4.7	2.756	0.143	75.987	2.899	1.512	2.437	9.566	37.34	62.66	82.54
P14	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR (24-04-2013)	4.821	3.111	0.155	75.497	2.019	1.84	2.907	9.652	28.52	71.48	85.94
P15	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR #2 (24-04-2013)	6.274	2.537	0.161	71.136	3.606	2.562	2.382	11.343	27.35	72.65	86.39
P16	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR 25-04-2013)	5.829	3.153	0.084	75.218	3.237	0.926	3.655	7.899	30.9	69.1	85.02
P17	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR (29-04-2013)	4.871	2.356	0.199	75.711	2.761	1.531	3.127	9.445	27.86	72.14	86.20
P18	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR (30-04-2013)	4.878	4.101	0.122	62.579	3.905	0.526	5.518	18.371	20.7	79.3	88.96
P19	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR (02-05-2013)	8.009	2.014	0.065	53.9	22.29	1.341	2.459	9.922	31.68	68.32	84.72
P20	PUZOLANA SALIDA DEL SECADOR (05-05-2013)	5.701	1.675	0.14	71.16	1.148	2.841	2.707	14.63	30.82	69.18	85.05
P21	PUZOLANA SECA SIN POLVOS PASADOS 149 MICRAS	6.203	3.218	0.149	70.72	1.236	2.122	3.412	12.94	39.52	60.48	81.70
P22	PUZOLANA SECA SOLO POLVOS PASADOS 149 MICRAS	5.275	4.606	0.114	62.238	2.768	2.166	6.71	16.123	15.17	84.83	91.09

Tabla 3.14. Porcentajes de Actividad Puzolánica. Método de análisis instrumental por Difractometría de Rayos X.

Como se observa en la tabla 3.14; existen variaciones del porcentaje de actividad puzolánica en relación con la temperatura de activación tomada a temperatura normal, 400°C, 500°C y 600°C, pero esta variación no es muy marcada.

De la misma manera se puede observar que los valores de activación de la puzolana son mayores en las muestras tomadas a la entrada del secador, en lugar de los tomados a la salida del mismo, por lo que tomamos una muestra de puzolana a la salida del secador y la hicimos pasar por un tamiz de 149 micras, a estos polvos les realizamos una lectura en el equipo de difracción de rayos x para observar su valor de activación puzolánica, dándonos cuenta que el valor es mucho más elevado con relación al material grueso, concluyendo así que, el material tomado a la salida del secador nos proporcionaba valores menores de actividad puzolánica debido a que el material fino se iba por el colector de polvos del sistema.

En general las muestras cumplen con el porcentaje mínimo de actividad puzolánica, el cual debe ser del 75%.

Determinación del porcentaje de retenido en el tamiz ASTM 325

Referenciado en la NTE INEN 957:2012. Siendo la cantidad máxima admisible de árido retenido del 20%, según NTE INEN 490:2011.

Objetivo: Disponer de un determinado procedimiento para el correcto ensayo del retenido en el tamiz ASTM 325; finura por tamizado húmedo (tamiz de 45 μ m o 0,045mm).

Alcance: Se aplica a los siguientes materiales: cemento (tanto de fabricación, como de expedición), yeso, clinker y puzolanas.

Definiciones:

Este ensayo se basa en medir la cantidad de muestra que queda retenida en el tamiz número 325 ASTM, al realizar el tamizado húmedo. El tamiz 325 es el tamiz con una abertura de 45 μ m. Para este tamizado se utiliza una boquilla de atomización que permita esparcir un chorro de agua cuya presión sea regulable y que de una presión máxima de 0,2 MPa, la misma que es registrada en un manómetro.

Fineza: Se denomina fineza al grado granulométrico de un material determinado.

Tamiz: Clasificador de materiales por medio de una malla de abertura determinada y especificada.

Equipo:

- Manómetro
- Tamiz
- Boquilla de atomización
- Balanza electrónica
- Plancha de calentamiento.

Instrucciones:

Se pesa 1g de muestra, a continuación se coloca la muestra en el tamiz limpio y seco, y se humedece completamente con un chorro suave de agua.

Se retira el tamiz de debajo de la boquilla atomizadora y se ajusta la presión del agua a $0,07 \pm 0,0035\text{MPa}$, luego se coloca nuevamente el tamiz debajo de la boquilla y se lava la muestra durante 1 minuto, moviendo circularmente el tamiz en un plano horizontal a la velocidad de una revolución por segundo en el chorro atomizado, cuidando que el fondo de la boquilla atomizadora penetre 12,5 mm en el marco del tamiz.

Se retira del chorro el tamiz, finalmente se seca el tamiz y el retenido en un horno de secado o sobre una plancha de calentamiento, teniendo en cuenta de no calentar demasiado el tamiz para no debilitar la soldadura, colocando el tamiz de tal manera que el aire pueda circular libremente por debajo de él. Finalmente se debe enfriar el tamiz, y mediante una brocha sacar todo el retenido y pesarlo en la balanza analítica (mp).

Cálculos: Los cálculos del porcentaje de retenido en el tamiz 325 se pueden hacer utilizando la siguiente ecuación:

$$\%R = mp \times 100$$

Dónde:

%R = porcentaje de retenido en el tamiz 325.

mp = cantidad de muestra que no atraviesa el tamiz 325.

Ejemplo: Para la muestra número de Puzolana tomada el 2 de abril del 2013 se tiene los siguientes valores obtenidos experimentalmente:

mp: 0,1095g

Aplicando la respectiva ecuación se tiene:

$$\%R = 0,1095 \times 100$$

$$\%R = 10,95\%$$

Este procedimiento para la determinación del porcentaje retenido en el tamiz ASTM 325, se realizó al: clínker, yeso y a la muestra de puzolana que se pasó por el tamiz de 149 micras, obteniendo los siguientes resultados:

Fecha	Muestra	mo(g)	Retenido tamiz 325
02/04/2013	Puzolana	0.1095	10.95%
25/04/2013	Puzolana(polvos)	0.553	55.3
03/04/2013	Yeso	0.1216	12.16%
04/04/2013	Clinker	0.3745	37.45%

Tabla 3.15. Resultados de % Retenido en Tamiz ATM 325

El porcentaje de retenido en la casilla de color amarilla corresponde a una muestra de puzolana que se hizo pasar por un tamiz de 149 micras para efecto de análisis de la actividad puzolánica, es por esa razón el valor tan alto de retenido.

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DEL CEMENTO SEGÚN NORMA NTE INEN 490.

Las características a continuación descritas fueron desarrolladas en base a los requerimientos establecidos en la Norma NTE INEN 490:2011, quinta revisión, en concordancia con el Manual de Calidad de la Compañía Industrias Guapán S.A.

Determinación de la superficie específica según Método Blaine

Objetivo: Determinar un procedimiento para la determinación correcta de la superficie específica.

Alcance: Este procedimiento se aplica a la muestra de cemento de fabricación.

Definiciones:

Superficie específica: La superficie específica es la suma de las superficies de las partículas de un gramo de muestra, la misma que utiliza permeabilimetría y se lo realiza en el “Permeabilímetro o Aparato de Blaine”, el que consiste de una célula de permeabilidad, un manómetro, un líquido manométrico (aceite de vaselina), un disco perforado y un émbolo.

Equipo:

- Permeabilímetro Blaine.
- Papel filtro
- Cronómetro
- Termómetro

Instrucciones:

Inicialmente se pesa una cantidad de muestra exactamente igual a la de la muestra patrón (2.7774g), según procedimientos para calibrar el aparato, y se coloca un papel filtro sobre el disco perforado y la muestra en la célula de permeabilidad.

Luego, se nivela cuidadosamente la muestra mediante ligeros golpes en las paredes de la célula, y en seguida se cubre la muestra con otro papel filtro.

A continuación se debe bajar cuidadosamente el pistón hasta que su reborde esté en contacto con la parte superior de la célula y luego levantarlo sin dispersar el cemento.

Adicionalmente se registra exactamente la temperatura del laboratorio antes de comenzar la determinación, se conecta herméticamente la célula con el manómetro, cuidando que no se altere la capa del cemento y se expulsa lentamente el aire contenido en el brazo del manómetro, hasta que el líquido llegue a nivel de la primera marca.

Posteriormente se comienza a registrar el tiempo con el cronómetro en el instante en que el menisco del líquido llegue a la marca inmediatamente inferior.

Finalmente se detiene el cronómetro cuando el menisco llega a la penúltima marca y se registra el tiempo transcurrido.

Cálculos: Para el cálculo nos basamos en una tabla (ver anexo 4), la cual nos dará el valor de la superficie específica “Blaine” en cm^2/g , este resultado está en función de la temperatura y del intervalo de tiempo en el ensayo.

El permeabilímetro de Blaine utilizado en el departamento de calidad de Compañía Industrias Guapán se indica en la siguiente imagen.



Figura 3.2. Equipo para la determinación del Blaine
Fuente: Propia

Así tenemos los siguientes resultados, junto con el valor de porcentaje retenido en el tamiz ASTM 325 cuyo procedimiento se describió cuando hablamos de la puzolana:

MOLINO DE CEMENTO			G 24	
Fecha	% Retenido TAMIZ ASTM 325	Blaine	% Retenido TAMIZ ASTM 325	Blaine
25/04/2013	5.22	4022	16.61	3667
29/04/2013	5.31	3815	29.32	No se determina
29/04/2013	4.65	4192	19.02	3121

Tabla 3.16. Resultados de % Retenido en Tamiz ATM 325 y Blaine

A demás de realzar el análisis a la muestra de cemento de fabricación, la realizamos a la recirculación del G24 que es recolector de polvos.

Expansión en Autoclave del Cemento

Este procedimiento está descrito en el documento NTE INEN 0200:09 Determinación de la expansión en autoclave y ajustado para los requerimientos del laboratorio en el Manual de Calidad de la Compañía Industrias Guapán S.A. de la siguiente manera:

OBJETIVO: Establecer la instrucción para la determinación de la expansión por el método del autoclave.

ALCANCE: Al producto cemento

DEFINICIONES:

Autoclave: El autoclave consiste en una caldera de vapor provista de un regulador automático y de una válvula de seguridad. Además, tiene una válvula de desfogue de aire y de vapor, una unidad de calefacción, un manómetro y un termómetro.



Prueba de autoclave: La prueba de la expansión se hace en probetas que son paralelepípedos, las mismas que en sus extremos tienen unos topes metálicos y se mide su longitud efectiva (distancia entre los extremos interiores de los puntos de referencia de la probeta), la lectura inicial en un comparador de longitudes y luego de someter las probetas al autoclave, se mide en el comparador de longitudes una longitud final.

Comparador de longitudes: Es un medidor de longitudes micrométrico.

EQUIPO:

- Mezcladora
- Reloj-cronómetro
- Balanza
- Placa
- Comparador de longitudes
- Moldes
- Probeta graduada
- Autoclave

INSTRUCCIONES:

Limpiar los moldes y los topes de medida. Recubrir el interior con una capa delgada de aceite mineral, solamente los moldes y colocar los topes en su sitio.

Preparar una pasta de *consistencia normal*, lo suficiente para preparar tres probetas de cada muestra a ensayarse.

Colocar la pasta en los moldes en dos capas, aproximadamente iguales, presionando cada capa con los dedos para obtener una perfecta compactación de la muestra en el molde y retirar el exceso de pasta con una espátula y alisar la superficie.

Colocar inmediatamente las muestras en la cámara húmeda donde permanecerán 24 horas.

Cumplido las 24 horas sacar las muestras de la cámara húmeda y medir inmediatamente la longitud inicial (l_i) entre los extremos libres de los topes de calibración, en el comparador de longitudes.

Colocar las probetas en el autoclave a la temperatura ambiente, en un soporte adecuado de manera que las 4 caras queden expuestas a la acción del vapor.

Se llena el autoclave con agua en cantidad de 500 cc, para que durante el ensayo el vapor se mantenga en estado de saturación; el volumen de agua es del 7 al 10 % del total de la cámara.

Se inicia el calentamiento del autoclave, cerciorándose que la válvula de eliminación de aire permanezca abierta hasta que por ella comience a salir vapor.

Se cierra la válvula y se regula el calentamiento del autoclave, para obtener la presión de ensayo de 2.1 MPa (o su equivalente el kg/cm^2 o psi) entre los 45 y 75 minutos siguientes al inicio del calentamiento.

Durante las 3 horas siguientes, la presión se debe mantener entre un mínimo de 2 MPa y un máximo de 2.2 MPa. (O su equivalente el kg/cm^2 o psi)

Al final de las 3 horas se interrumpe el calentamiento y se deja enfriar el autoclave, de manera que al cabo de 90 minutos la presión manométrica sea inferior a 0.1 MPa (o su equivalente en kg/cm^2 o psi)

La presión residual se elimina lentamente, dejando escapar el vapor por la válvula de eliminación de aire, hasta alcanzar la presión atmosférica.

Se abre el autoclave y se colocan las probetas de ensayo en agua cuya temperatura sea superior a 90 °C.

La temperatura del agua se hace disminuir en forma uniforme, añadiendo agua fría, de manera que descienda a 23 ± 3 °C en 15 minutos, manteniéndose esta temperatura durante un período adicional de 15 min, al cabo del cual se retiran las probetas del autoclave, se secan cuidadosamente sus caras y se mide su longitud final (l_f) entre los extremos libres de los topos de calibración. Las probetas se deben girar lentamente y obtener la mínima lectura obtenida.

Cálculos:

La expansión en autoclave se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = (\Delta l / l_e) \times 100$$

Siendo:

ε = expansión del cemento, en porcentaje,

Δl = Variación de longitud ($l_f - l_i$), en mm,

l_e = longitud efectiva.

FUENTE: Departamento de Control de Calidad

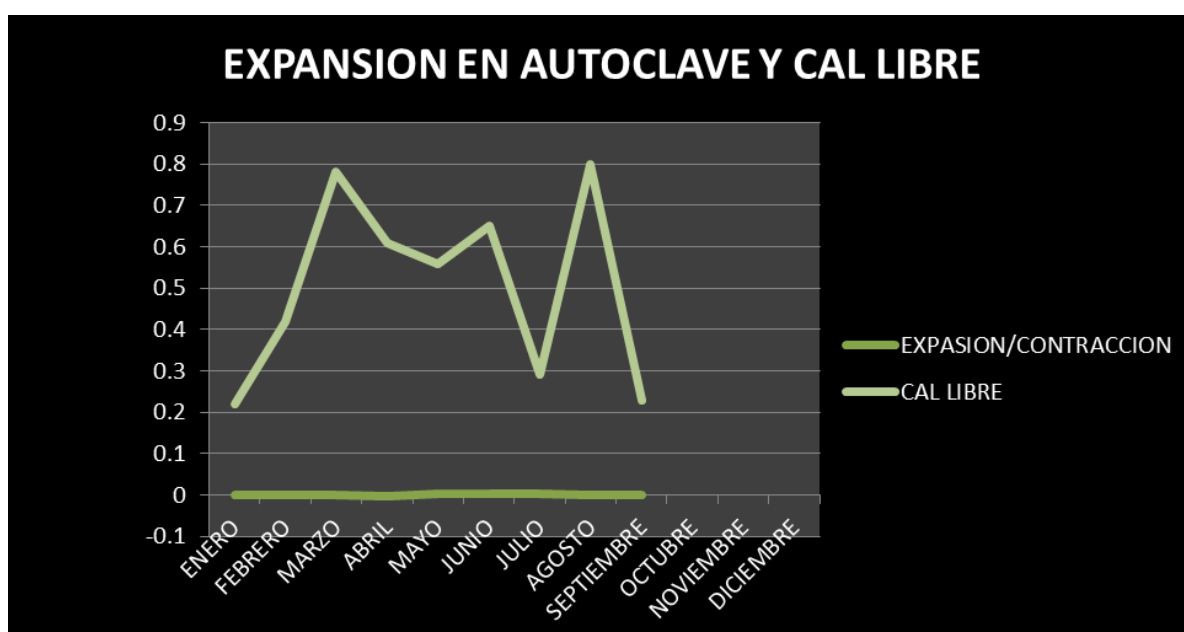
Siguiendo este manual para la expansión en el autoclave hemos obtenido los siguientes resultados para las muestras de cemento de fabricación.

MESES	EXPASION/CONTRACCION	CAL LIBRE
ENERO	0.000673	0.22
FEBRERO	0.000766	0.42
MARZO	0.000452	0.78
ABRIL	-0.00237	0.61
MAYO	0.003072	0.56
JUNIO	0.004604	0.65
JULIO	0.002146	0.29
AGOSTO	0.001018	0.8
SEPTIEMBRE	0.000743	0.23

Tabla 3.16. Resultados Expansión en autoclave y cal libre de las muestras de cemento de fabricación para el año 2013

Fuente: Departamento de Calidad Industrias Guapán

Estos datos nos proporcionan el siguiente gráfico:



Cuadro 3.7. Gráfica de expansión en autoclave y contenido de cal libre de las muestras de cemento de fabricación para el año 2013

Fuente: Departamento de Calidad Industrias Guapán

Como se puede observar en la gráfica, la expansión en autoclave no presenta cambios notables a lo largo del año.

Determinación del Tiempo de Fraguado Método Vicat

Este procedimiento está descrito en el documento NTE INEN 0158:09 determinación del tiempo de fraguado método Vicat.

El cual se ha ajustado para los requerimientos del laboratorio en el Manual de Calidad de la Compañía Industrias Guapán S.A. de la siguiente manera:

Objetivo: Establecer la instrucción para la determinación del tiempo de fraguado según el Método de VICAT

Alcance: Al producto cemento (Cemento de Fabricación, Cemento de Expedición).

Definiciones:

Fraguado: El fraguado es el proceso inicial de hidratación en el cual la parte del cemento hidráulico adquiere una mayor consistencia.

Tiempo de fraguado inicial: El tiempo de fraguado inicial es el tiempo transcurrido desde que se agrega el cemento al agua para formar la pasta de consistencia normal, hasta el momento que la aguja de Vicat (ver fig. 3.1.5) tiene una penetración en dicha pasta de 25 mm o ligeramente menos en las condiciones normales de este ensayo.

Tiempo de fraguado final: El tiempo de fraguado final es el tiempo transcurrido desde que se agrega el cemento al agua para formar la pasta de consistencias normal hasta el momento en la que no penetra y solamente se marque en la superficie de dicha pasta una huella de la aguja de Vicat, en las condiciones normales de este ensayo.

Equipo:

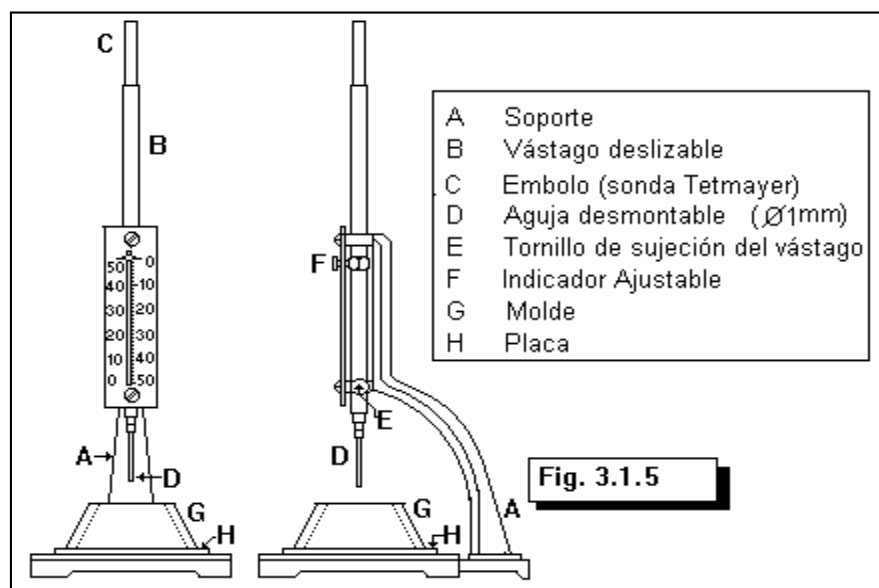
Aparato de Vicat	Mezcladora	Molde
Reloj cronómetro	Placa	Espátula
alanza analítica	Probeta	

Instrucciones:

La pasta de consistencia normal obtenida, en el molde y sobre la placa, se coloca en la cámara de curado.

Luego de 30 minutos de transcurrido desde el inicio de la preparación de la pasta de consistencia normal, se saca el molde de la cámara de curado húmedo y se coloca debajo del vástago deslizante que sostiene la aguja, poniéndola suavemente en contacto con la superficie de la pasta de cemento, por lo menos a 10 mm del borde del molde, fijando el vástago en esa posición.

Colocar el indicador ajustable en el cero de la escala o tomar una lectura inicial. Soltar el vástago y dejar que la aguja penetre dentro de la superficie de la pasta durante 30 segundos, luego de lo cual se hace la lectura de la penetración.



Se vuelve a poner en la cámara de curado y se le saca para hacer la prueba de penetración en una parte no alterada de la superficie por lo menos a unos 10 mm de cualquier penetración anterior en un intervalo de cada 5 minutos. Este proceso se repite hasta que la aguja penetre 25 mm o un poco menos, luego de 30 s de haber soltado el vástago y este tiempo se registra como tiempo de fraguado inicial.

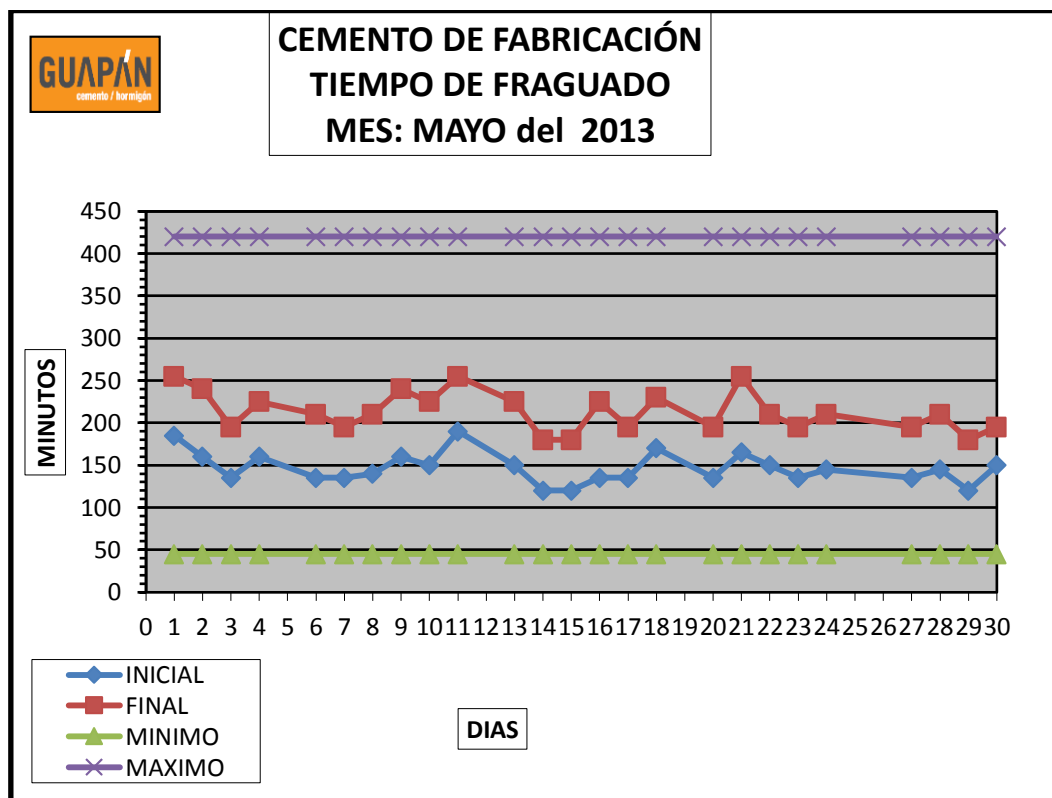
Transcurrido un tiempo prudencial, se repite el procedimiento anterior, hasta que la aguja no penetre y no deje marca visible en una parte no alterada de la superficie de la pasta del cemento.

Se registra el período transcurrido desde la preparación de la pasta de consistencia normal hasta el momento en que la aguja ya no penetra en la pasta y a este período se le conoce como tiempo final de fraguado.

Nota.- El tiempo de fraguado no solamente es afectado por el porcentaje y temperatura del agua utilizada y la cantidad de amasado de la pasta, sino también por la temperatura y humedad del aire, por lo que la humedad y la temperatura deben mantenerse controladas.

FUENTE: Departamento de Control de Calidad

Los datos obtenidos de los tiempos de fraguado pueden verse en el anexo 6 (tabla de resultados de fineza, fraguado y resistencia a la compresión para el mes de mayo del 2013), estos datos nos dieron como resultado la siguiente curva



Cuadro 3.7. Gráfica de Tiempos de Fraguado en muestras cemento de fabricación
Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"

Como podemos observar en el gráfico los datos de tiempo de fraguado cumplen con las especificaciones propuestas por el departamento de calidad.

Determinación de la Resistencia a la Compresión

Este procedimiento está descrito en el documento NTE INEN 0488:09 Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.

El cual se ha ajustado para los requerimientos del laboratorio en el Manual de Calidad de la Compañía Industrias Guapán S.A. de la siguiente manera:

Objetivo: Establecer la instrucción para la determinación de la resistencia a la compresión.

Alcance: Aplica al producto cemento (de .Expendio y Fabricación)

Definiciones:

La resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico se hace usando especímenes cúbicos de 50 mm de arista. La prueba se basa en la aplicación de una carga progresiva de compresión a un espécimen cúbico de mortero de cemento, hasta determinar su resistencia máxima admisible.

Flujo: Para efectos de este procedimiento, es el aumento en el diámetro promedio de la masa de mortero, determinado con un calibrador, medido en por lo menos en 4 diámetros a intervalos equidistantes y expresado como porcentaje del diámetro original.

Resistencia a la compresión: Es la aplicación de una carga progresiva de compresión a un espécimen cúbico de mortero de cemento, hasta determinar su resistencia máxima admisible.

Mortero de cemento: Es la mezcla de arena normalizada, agua y cemento en cantidades normados.

Equipo:

- Balanza
- Pesas
- Moldes de los cubos
- Mesa y Molde de flujo
- Prensa
- Espátula
- Probetas Graduadas
- Tamices
- Mezcladora, recipiente de mezclado, paleta



- Apisonador
- Calibrador
- Guantes

Instrucciones:

Se pesa el cemento y la arena en una proporción de una parte de cemento por 2,75 partes de arena gradada seca. Así por ejemplo para obtener 6 cubos de ensayo las cantidades serían 500 g de cemento y 1375 g de arena; para 9 cubos deben ser 740 g de cemento y 2035 g de arena. La cantidad de agua debe ser lo suficiente para producir un flujo entre 100 y 115 *(de acuerdo a la prueba realizada según el instructivo para determinación de la tabla de flujo contenido de aire en morteros I.CK-7.1-25)*. Por ejemplo para 6 cubos unos 250 cm³ de agua y para 9 cubos unos 360 cm³.

Se limpian los moldes y se cubren con aceite mineral, se los ensambla y se retira el excedente de aceite.

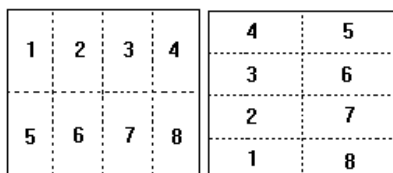
Luego se procede a la preparación del mortero, de la siguiente manera:

- Colocar la paleta mezcladora y el recipiente de mezclado en la posición de trabajo, cuidando que estén limpios y secos.
- Verter toda el agua de amasado en el recipiente, agregar todo el cemento requerido y mezclar durante 30 s a velocidad lenta.
- Agregar lentamente toda la arena requerida en un período de 30 s mientras se mezcla a velocidad lenta.
- Cambiar a velocidad rápida y mezclar durante 30 s
- Detener la mezcladora durante 90 s; durante los primeros 15 s arrastrar con la espátula todo el mortero adherido a la pared del recipiente hacia el fondo y tapar el recipiente durante los 75 s restantes.
- Mezclar durante 60 segundos, a velocidad rápida.

A continuación el llenado de los moldes se hace de la siguiente manera:

- Colocar una capa de mortero de más o menos 25 mm de espesor en cada compartimiento cúbico.
- Apisonar 32 veces el mortero en cada compartimiento, en aproximadamente 10 s, en 4 etapas de 8 golpes cada una. Los golpes de cada etapa deben darse siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior (ver fig. 3.1.9).

Fig. 3.1.9



Una vez apisonados todos los compartimientos, se debe llenar con una segunda capa y apisonar como se hizo anteriormente. Durante el apisonado de la segunda etapa, recoger el mortero desprendido hacia afuera de los moldes después de cada etapa, con ayuda de los dedos, pero llevando las manos enguantadas.

Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos, deben quedar un poco más altas que los bordes superiores de los moldes. El mortero depositado en los bordes debe retirarse de los compartimientos con la ayuda de una espátula y la superficie de los cubos debe alisarse con un palustre, sostenido casi perpendicularmente, con un movimiento de vaivén a lo largo de la longitud del mismo.

Terminada la operación de llenado, colocar el conjunto formado por cubos y moldes en la cámara húmeda, de 20 a 24 horas, con las caras superiores de los moldes expuestas al aire húmedo, pero protegidas contra la eventual caída de gotas de agua.

Si los cubos no van a ser ensayados a las 24 horas, deben sumergirse en agua dentro de las piscinas de almacenamiento contruidos de material resistente a la

corrosión. Antes de colocación en las piscinas codificar los cubos. El agua debe mantenerse limpia por renovación frecuente.

Una vez cumplido el tiempo de 24 horas en la cámara húmeda o de 3, 7, o 28 días en las piscinas de agua, según sea el caso, se procede al ensayo de la compresión.

Si son los cubos de 24 horas, hay que pasarlos inmediatamente a la máquina de prueba y si se sacan varios al mismo tiempo, se les debe cubrir con una toalla húmeda hasta el momento de ensayo.

En el caso de otros cubos, deben sacarse del recipiente de almacenamiento y probarse inmediatamente. Si se sacan varios al mismo tiempo, deben sumergirse totalmente en agua a una temperatura de $23 \pm 1,5$ °C, hasta el momento del ensayo. Todos los cubos deben ser probados dentro de las tolerancias de tiempo que se indican en la siguiente tabla:

EDAD DEL CUBO	TOLERANCIA ADMISIBLE
24 horas	$\pm 1/2$ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Las superficies de los cubos deben secarse, y los granos de arena desprendidos, o las incrustaciones deben retirarse de las caras que van a estar en contacto con los bloques de apoyo de la máquina de ensayo.

Se debe comprobar, por medio de una regla, que estas caras sean perfectamente planas. En caso que tenga curvatura apreciable, deben restregarse hasta obtener superficies planas. Si esto no es posible, se debe desechar el cubo.

Colocar cuidadosamente el cubo, centrándolo debajo del bloque superior de la máquina de ensayo.

Aplicar una carga en la máquina, progresivamente hasta el momento en que se deforme el cubo, momento en el cual la aguja indicadora de carga regresa a su posición original, quedando señalando el valor otra aguja, la misma que es arrastrada el momento de la prueba por la aguja anterior y se registra el valor.

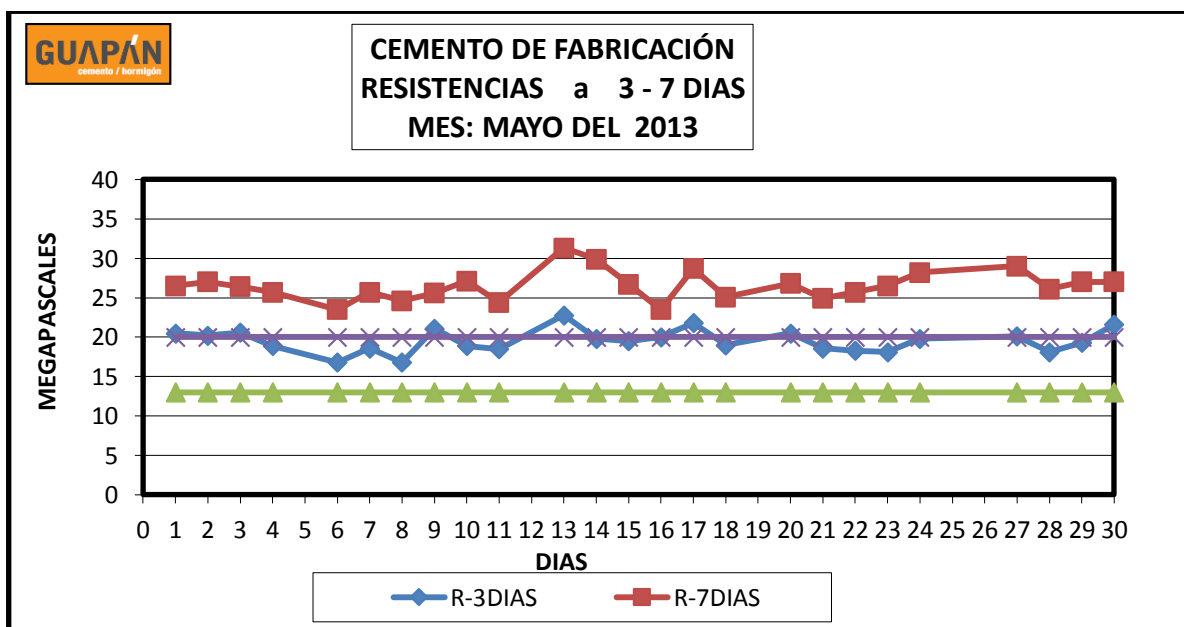
Cálculos:

La carga máxima soportada se divide para el área del cubo (25 cm²) y se expresa en MPa, considerando 1 MPa = 10.2 kg/cm².

FUENTE: Departamento de Control de Calidad

Los datos de resistencia a la compresión junto con los datos de fineza y de tiempos de fraguado se pueden ver en el anexo 5.

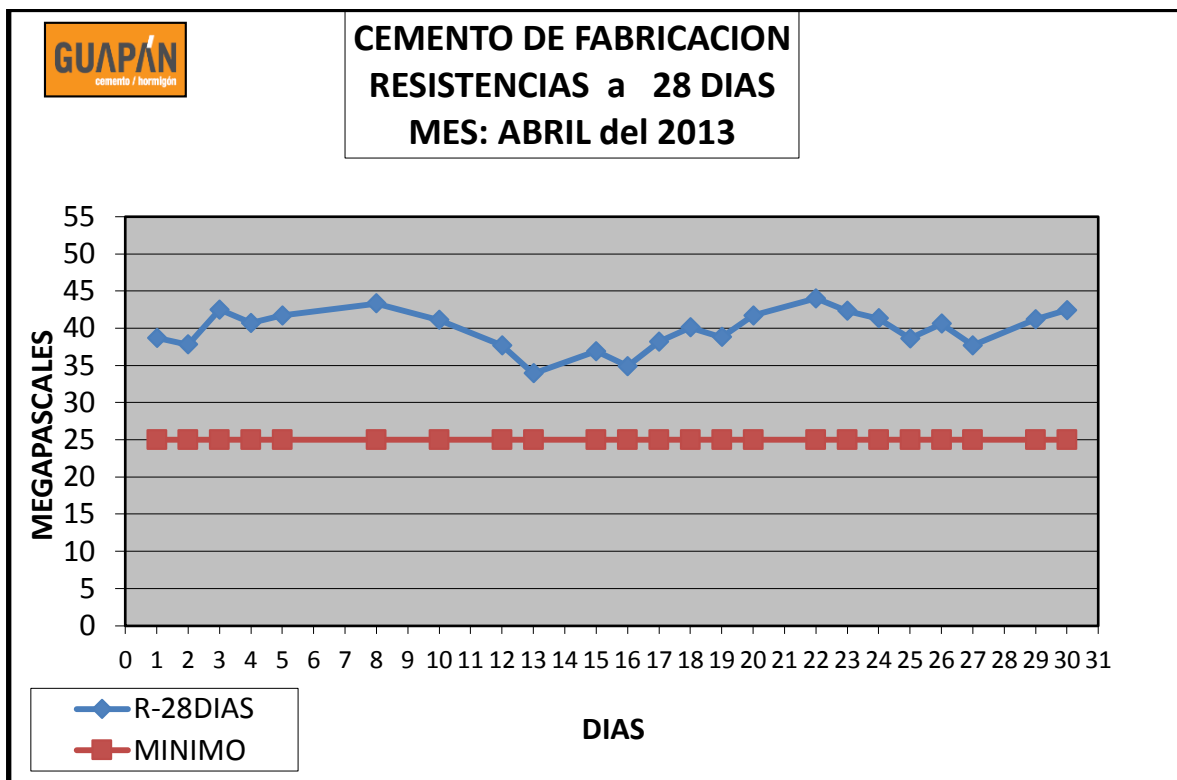
Estos datos nos proporcionaron la siguiente curva



Cuadro 3.8. Gráfica Resistencia a la compresión 3-7 Días en muestras de cemento de fabricación

Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"

En esta grafica podemos observar la variación de la resistencia para 3 y 7 días, así como sus respectivos mínimos.



Cuadro 3.7. Gráfica de Tiempos de Fraguado en muestras de cemento de fabricación

Fuente: Departamento de Calidad “Industrias Guapán”

En esta grafica se observa la curva de los valores de la resistencia a la compresión al término de 28 días.

Por ultimo procedimos a realizar el análisis instrumental de fluorescencia de rayos X

Análisis de Muestras por Fluorescencia de Rayos X

Objetivo: Establecer el instructivo para la realización de análisis de muestras por fluorescencia de rayos x.



Alcance: Se aplica esta instrucción al análisis de muestras de arcillas, caliza, crudo, clinker, yeso, puzolana, cemento.

Definiciones:

Cemento Portland: Producto de moler a una fineza determinada el clinker portland con un porcentaje adecuado en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.

Espectrómetro: Instrumento que genera, analiza y registra espectros y que permite determinar la composición química por medio de la incidencia de rayos x a través de la técnica de fluorescencia de rayos x sobre la muestra de estudio.

Fluorescencia de rayos x (XRF): Técnica utilizada para el análisis químico de un material determinado; se basa en la emisión de rayos x secundarios o fluorescentes característicos de un material que ha sido excitado al ser bombardeado con rayos X de alta energía o rayos gama

Equipo:

- Chapas de aluminio
- Vibro molino
- Prensa Hidráulica
- Pinza
- Plancha térmica
- Bandeja de aluminio
- Espectrómetro

Instrucciones:

Tomar la muestra preparada según *I.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras*.

Colocar sobre una cápsula de aluminio la muestra a prensar. Colocar en el contenedor de la prensa hidráulica.

Cerrar y Prensar la muestra con el accionamiento, pulsando el botón principal.

Abrir y accionar la prensa para sacar la muestra prensada (pastilla).

Colocar la(s) muestra(s) en el cargador identificando su posición y cerrar la compuerta en el menor tiempo posible.

En la pantalla touchscreen o desde el computador identificar las muestras de acuerdo a su composición

Tabular la identificación (códigos) de la siguiente forma:

Código	hora
TR para trituración	XXH
MC para molino de crudo	XXH
SC para silo comprobado	1, 2,...
AH para alimentación al horno	XXH
KK para clinker	XXH
FF para cemento de fabricación	XXH
EE para cemento de expendio	XXH
Cualquier etiqueta para el resto de materiales	XXH

Realizar la lectura desde la pantalla touchscreen o desde el computador utilizando los programas preparados para el efecto como los siguientes:

<i>HCRUDA</i>	Alimentación al horno, silos comprobados, Molino de crudo, material de trituración, Calizas.
<i>CLINKERGUAPAN</i>	Para clinker.
<i>CEMENTO1</i>	Cemento de fabricación y expedición
<i>ARCILLA</i>	Para arcilla

Registrar los datos en según corresponda.

FUENTE: Departamento de Control de Calidad

Los datos obtenidos de fluorescencia de rayos X para las muestras de cemento se podrán ver en el anexo 6.

CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 OBJETIVO

El objetivo del presente capítulo es valorar los costos de producción en el área de molienda de cemento, analizar los costos antes de la implementación de los nuevos sistema como después de haber incorporado los mismos, con el fin de evaluar si existió una disminución en los costos de fabricación, para ello se toma en consideración los siguientes costos relacionados con la materia prima, carga fabril y consumo de energía.

4.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA EL MES DE MARZO DE 2013 (SIN SECADOR DE PUZOLANA Y SIN PREMOLIENDA)

- **Costo del material a la entrada al molino de cemento:**

- Tonelada de clinker producido:	USD 76,15
- Tonelada de yeso:	USD 59,35
- Tonelada de puzolana:	USD 16,39
- Tonelada de clinker comprado:	USD 96,18

- **Dosificación actual:**

- 75 % de clinker: 18,75% de clinker comprado + 56,25% de clinker producido
- 22% de puzolana
- 3 % de yeso

- **Costo por material para una tonelada de cemento:**

$$(0,1875*96,18+0,5625*76,15) + (0,03*59,35)+ (0,22*16,39) = \text{USD } 66,25$$

- **Costo de mano de obra por tonelada producida**

Carga Fabril: **USD 5,11**

- **Costo de energía:** **USD 0,07/ KWh**

Consumo de energía= 40,77KWh/t * 0,07 USD/KWh= **USD 2,85**

- **Total por tonelada de cemento producida:** **USD 74,21**

4.3 INCIDENCIA EN EL COSTO DE PRODUCCION DEL SISTEMA DE SECADO DE PUZOLANA Y PREMOLIENDA (COSTO PARA EL MES DE JULIO DE 2013)

- **Costo del material a la entrada al molino de cemento:**

- Tonelada de clinker producido : USD 76,15
- Tonelada de yeso: USD 59,35
- Tonelada de puzolana: USD 16,39
- Tonelada de clinker comprado: USD 96,18

- **Dosificación actual:**

- 72 % de clinker: 8% de clinker comprado + 64% de clinker producido
- 25% de puzolana
- 3 % de yeso

- **Costo por material para una tonelada de cemento:**

$(0,08*96,18+0,64*76,15) + (0,03*59,35)+ (0,25*16,39) =$ **USD 62,31**

- **Costo de mano de obra por tonelada producida**

Carga Fabril: **USD 5,11**

- **Costo de energía :** **USD 0,07/ KWh**

Consumo de energía=37,13KWh/ton * 0,07 USD/KWh= **USD 2,60**

- **Total por tonelada de cemento producida:** **USD 70,02**

En el siguiente cuadro exponemos un resumen de los costos de fabricación de una tonelada de cemento, recalando que este costo es hasta la etapa de molienda de cemento.

COSTOS PARA FABRICAR UNA TONELADA DE CEMENTO							
Dosificacion hasta Marzo		Dosificacion a partir de Abril		Costos de material por tonelada		(\$)	
0.1875	clínker comprado	0.08	clínker comprado	Costo de Clinker comprado		96.18	
0.5625	clínker producido	0.64	clínker producido	Costo de Clinker Producido		76.15	
0.22	puzolana	0.25	puzolana	Costo dePuzolana		16.39	
0.03	yeso	0.03	yeso	Costo de Yeso		59.35	
1	Total	1	Total	Costo de Carga Fabril		5.11	
				Costo de 1 Kw-h		0.07	
Descripción		Costos por mes de fabricacion de una tonelada de cemento					
		Mes					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Costo de Clinker comprado (\$)	18.03	18.03	18.03	7.69	7.69	7.69	7.69
Costo de Clinker Producido (\$)	42.83	42.83	42.83	48.74	48.74	48.74	48.74
Costo dePuzolana (\$)	3.61	3.61	3.61	4.10	4.10	4.10	4.10
Costo de Yeso (\$)	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78
Costo de Carga Fabril (\$)	5.11	5.11	5.11	5.11	5.11	5.11	5.11
Consumo Energetico (KW-H/t)	40.68	39.45	40.77	40.04	36.86	37.11	37.13
Costo de Consumo Energetico (\$)	2.85	2.76	2.85	2.80	2.58	2.60	2.60
Costo de una tonelada de cemento (\$)	74.21	74.13	74.22	70.22	70.00	70.02	70.02

Tabla 4.1. Cálculos Resumen de costo de fabricación de una tonelada de cemento
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

Fuente: Gerencia de producción

4.4 RENTABILIDAD DE LA INVERSION

En la siguiente tabla realizamos los cálculos necesarios que nos permitirán analizar el tiempo en el que se recuperaría el valor de la inversión del secador de puzolana y premolienda para ello tomamos el valor promedio de la inversión, el cual es de \$8.000.000. Teniendo como resultado lo siguiente:

Rentabilidad de la Inversión del Sistema de Secado de Puzolana y Premolienda			
Producción Promedio Anual (t)		450000	Ahorro Anual (\$)
Ahorro derivado del Secador de puzolana	Ahorro por tonelada de cemento (\$)	4.12	1854000
Ahorro derivado del Sistema de Premolienda	Ahorro en consumo energético (Kwh-t)	3.64	114660
	Costo del Kwh (\$)	0.07	
Ahorro Total (\$)		1968660	
Inversión en el Secador de Puzolana y Sistema de Premolienda (\$)		8000000	
Tiempo en recuperar la inversión (años)		4.06	

Tabla 4.2. Cálculos de la Rentabilidad de la Inversión del Sistema de Secado de Puzolana y premolienda

4.5 CONCLUSIÓN

En el área de molienda de cemento hemos observado los diferentes mecanismos a través de los cuales se realiza la dosificación, la determinación del consumo energético, pudimos observar la implementación de los nuevos sistemas como son el secador de puzolana y el sistema pre molienda y como estos aportan en el rendimiento del molino, siendo esta área de vital importancia en la busca de mejoras que permitirán un mayor rendimiento en bases a mecanismos de operación y control de calidad de materias primas, como a la implementación de variables que permitirán una mejora constante en la obtención de un producto que cumpla con las expectativas de su consumidor a menores costos.



La notable disminución en el costo de tonelada producida se debe al secador de puzolana, el cual nos permite una mayor adición de puzolana, material que es mucho más barato que el Clinker.

Por su parte el sistema de pre molienda permite una reducción del consumo energético en el molino de cemento y un mayor rendimiento del mismo. Lo cual se ve reflejado en el análisis de rentabilidad.

CAPITULO V: APLICACIONES Y RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

El estudio de este capítulo tiene la finalidad de evaluar los datos obtenidos durante la elaboración de este trabajo, verificar que los mismos cumplan con los requisitos establecidos por las normas INEN para la elaboración de cemento.

Constatar que una vez incorporado el sistema de secado de puzolana y el sistema de pre molienda no afecto las características del producto final y comprobar qué tanto ayudaron estos sistemas en la mejora de la calidad del producto, realizando comparaciones de los análisis físicos químicos antes de implementar los sistemas y después de implementarlos.

Comenzaremos este estudio con el análisis de difracción, para ello realizamos la lectura en el difractómetro de rayos X a muestras de cemento correspondientes al mes de marzo, mes en el cual aún no se implementaron los nuevos sistemas, posteriormente realizamos el mismo análisis a muestras de cemento del mes de mayo, mes en el que ya se implementaron los sistemas de secado de puzolana y premolienda, por último realizamos la lectura en el difractómetro del material que sale del triturador de premolienda, este material triturado es una mezcla de puzolana 25%, yeso 3% y Clinker 72%, teniendo como resultado la siguiente tabla.

Phase Name														valores corregidos por contenido cristallino																		
	C/S monoclinic (NISH)	C/S beta (MUMME)	C/S cubic	C4AF	Perikase	cal libre	Yeso	Bassanite	anhidrita	Anorthite	Albite high K0.16	Quartz	CRISTALINO	C/S monoclinic (NISH)	C/S beta (MUMME)	C/S cubic	C4AF	Perikase	cal libre	Yeso	Bassanite	anhidrita	Anorthite (CaAl2Si2O8)	Albite high K0.16	Quartz	Adición cristallina	Adición total	% adición puzolana	CaO	SO3		
16-03-2013-MOLINO DE CEMENTO	53.67	25.64	3	8.76	0.09	2.11	0.886	0	0.36	1.2	3.97	0.37	84.05%	45.11	21.55	2.52	7.36	0.07	1.78	0.74	0.00	0.30	0.97	3.34	0.31	5.66	21.61	20.6	53.81	0.52		
2013-03-16-MOLINO DE CEMENTO	56.59	22.43	2.07	10.5	0.49	1.76	1.831	0	0.39	1	2.78	0.15	77.60%	43.92	17.40	1.61	8.15	0.38	1.36	1.42	0.00	0.30	0.79	2.16	0.12	4.79	27.19	25.5	50.44	0.84		
2013-03-16-MOLINO DE CEMENTO	61.93	19.06	4.1	9.32	0.38	1.08	1.183	0	0	0.3	2.27	0.42	78.54%	48.64	14.97	3.22	7.32	0.30	0.85	0.93	0.00	0.00	0.20	1.78	0.33	3.25	24.71	23.8	52.43	0.43		
2013-03-16-MOLINO DE CEMENTO	59.71	19.16	4.23	8.37	0.31	0.81	1.671	0	0.53	2.1	2.81	0.3	76.60%	45.74	14.67	3.24	6.41	0.24	0.62	1.28	0.00	0.40	1.63	2.15	0.23	5.69	29.09	27.4	50.49	0.83		
2013-04-25-MOLINO DE CEMENTO	61.21	12.01	6.32	7.24	0.1	0.62	4.493	0.29	0.89	2.2	4.19	0.47	67.70%	41.44	8.13	4.28	4.90	0.06	0.42	3.04	0.20	0.60	1.47	2.84	0.32	8.47	40.77	36.9	43.99	1.87		
2013-05-06-MOLINO DE CEMENTO	51.23	20.18	5.58	7.61	0	0.86	6.716	0.02	0.01	3.4	3.74	0.68	68.10%	34.89	13.75	3.80	5.18	0.00	0.59	4.57	0.01	0.00	2.30	2.54	0.46	9.90	41.80	37.2	42.93	2.14		
2013-05-06-MOLINO DE CEMENTO	57.59	18.1	6.2	7.48	0.16	1.05	3.903	0.2	0.67	2.4	1.85	0.43	73.92%	42.57	13.38	4.59	5.53	0.12	0.78	2.89	0.15	0.49	1.75	1.36	0.32	6.96	33.04	29.5	48.35	1.71		
2013-05-07-MOLINO DE CEMENTO	55.12	23.98	6.87	6.4	0.44	0.99	3.34	0.14	0	0.7	1.77	0.21	76.53%	42.18	18.35	5.26	4.90	0.34	0.75	2.56	0.11	0.00	0.57	1.35	0.16	4.74	28.21	25.6	50.63	1.24		
2013-04-29 G24	51.13	24.55	5.43	7.71	0.07	0.36	4.344	0.24	0.19	1.5	4.08	0.36	75.06%	38.38	18.43	4.08	5.79	0.05	0.27	3.26	0.18	0.14	1.16	3.06	0.27	8.07	33.01	29.4	48.16	1.69		
2013-04-25-G24	61.09	12.34	6.07	6.66	0.07	0.54	4.716	0	0.78	3.1	4.11	0.53	66.23%	40.46	8.17	4.02	4.41	0.05	0.36	3.12	0.00	0.51	2.06	2.72	0.35	8.76	42.53	38.9	43.02	1.76		
2013-04-23-PREMOLIENDA	55.38	22.68	6.34	7.17	0.18	2.45	0.794	0.28	0.41	1.9	2.3	0.12	73.24%	40.56	16.61	4.64	5.25	0.13	1.79	0.58	0.21	0.30	1.39	1.68	0.08	4.25	31.01	29.9	47.99	0.56		
2013-04-25-PREMOLIENDA	65.01	12.4	5.35	7.13	0.11	0.41	0.385	1.02	0.4	3.7	3.57	0.51	69.80%	45.37	8.65	3.73	4.98	0.08	0.28	0.27	0.71	0.28	2.59	2.49	0.36	6.70	36.90	35.6	46.20	0.66		
2013-04-29-PREMOLIENDA	54.33	22.34	5.78	5.39	0.18	0.78	0.382	1.57	0.54	2.7	5.68	0.36	74.23%	40.33	16.58	4.29	4.00	0.14	0.58	0.28	1.17	0.40	1.98	4.22	0.27	8.32	34.09	32.2	47.52	0.97		
2013-05-05-PREMOLIENDA	61.47	19.09	5.53	7.42	0.27	1.24	0.562	0.96	0.72	0.8	1.58	0.37	72.00%	44.25	13.74	3.98	5.34	0.20	0.89	0.40	0.69	0.52	0.58	1.13	0.26	3.59	31.59	30.0	48.55	0.85		

Tabla 4.1. Resultados de Difractometría de Rayos X a muestras de Cemento de fabricación y Mix de Premolienda

Las muestras que se encuentran marcadas de verde son la correspondiente al mes de marzo y las que se encuentran marcadas de azul son las correspondientes al mes de mayo.

Como podemos observar el porcentaje de SO_3 ha incrementado en las muestras de cemento del mes de mayo, pero estas se encuentran en valores permitidos por la norma INEN 490 en la cual nos dice que como máximo debe ser un 4%.

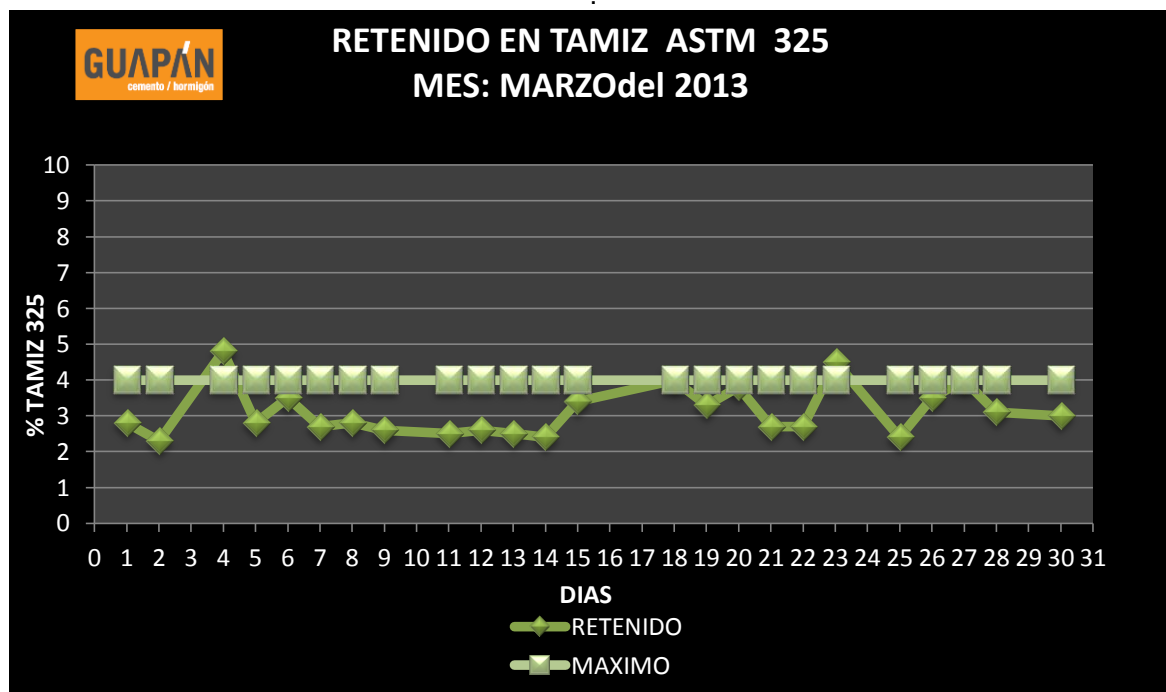
Por su parte el óxido de calcio ha tenido una disminución no tan pronunciadas en las muestras de cemento del mes de abril, en comparación con las de marzo, esto se debe a que ingresa mayor cantidad de puzolana, que se ve reflejado en las lecturas.

Las muestras del material de premolienda nos dan valores similares a los de cemento debido a que este es una mezcla triturada de puzolana yeso y clinker,

mezcla que una vez que pasa por el molino se convierte en cemento y por ende, los valores de lectura similares.

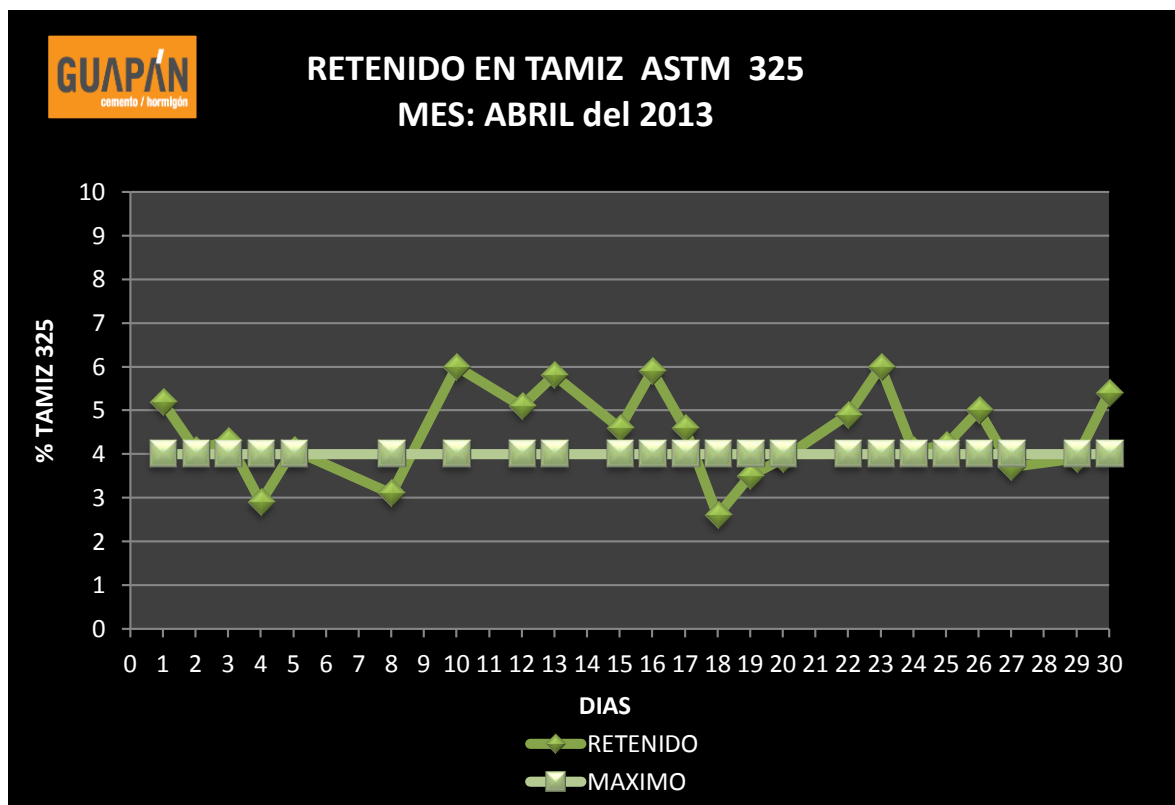
RETENCIÓN EN EL TAMIZ ASTM 325

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. La finura se mide por medio del ensayo del ensayo Blaine de permeabilidad al aire, o con la malla No.325 (45 micras). Aproximadamente del 85% al 95% de las partículas de cemento son menores de 45 micras. Es por eso que evaluamos la finura del cemento durante los dos meses mencionados anteriormente marzo y abril, con la finalidad de observar la variación que ha producido los nuevos sistemas en la finura del cemento. Obteniendo así las siguientes gráficas.



Cuadro 4.1. Gráfica Resumen de Retención en Tamiz ASTM 325 correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Marzo

Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"

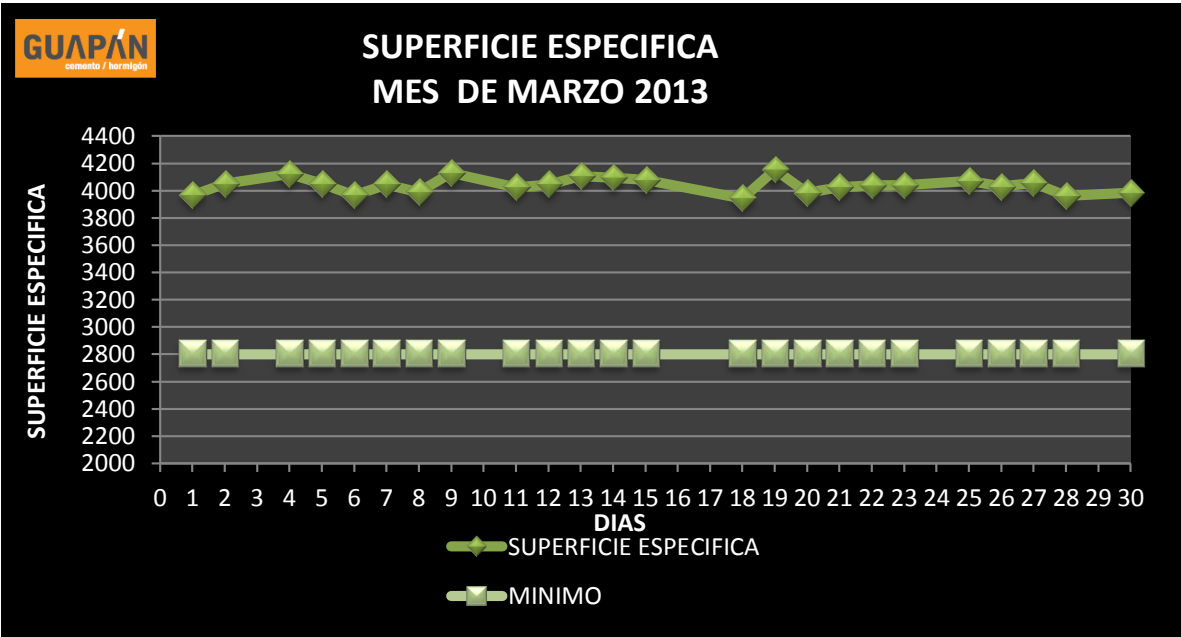


Cuadro 4.2. Gráfica Resumen de Retención en Tamiz ASTM 325
correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Abril
Fuente: Departamento de Calidad “Industrias Guapán”

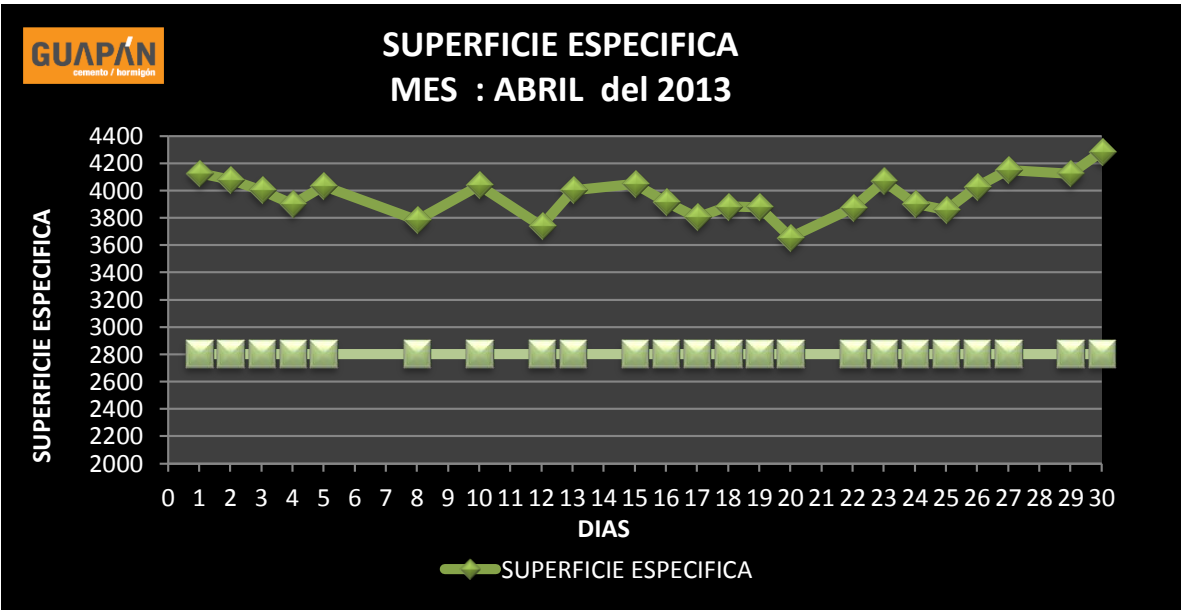
En estas gráficas se puede observar una gran diferencia en el mes de marzo el cemento cumple con el requisito de finura encontrándose casi siempre debajo del límite máximo que es el 4%.

A diferencia del mes de abril que supera el límite máximo en la mayoría de los días.

Para constatar la variación de la finura procederemos analizar mediante el método de permeabilidad de Blaine teniendo las siguientes gráficas.



Cuadro 4.3. Gráfica Resumen de Superficie Especifica correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Marzo
Fuente: Departamento de Calidad “Industrias Guapán”



Cuadro 4.4. Gráfica Resumen de Superficie Especifica correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Abril
Fuente: Departamento de Calidad “Industrias Guapán”

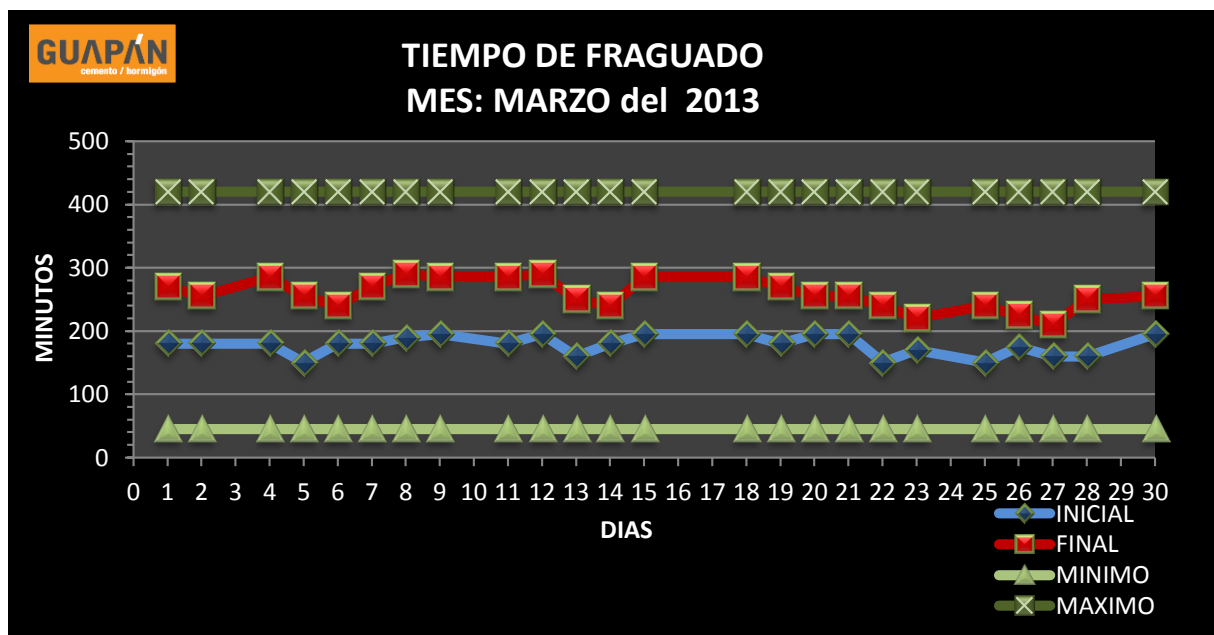
En estas dos graficas se observa lo contrario a las obtenidas en el tamiz ASTM 325, se puede observar que en ambas graficas la finura del cemento está por encima del límite inferior, pero en la gráfica que corresponde al mes de marzo tenemos mayor finura del cemento excediendo el límite máximo puesto por el departamento de calidad que es $4000\text{cm}^2/\text{g}$.

Para el mes de abril se puede observar una mejor calidad de cemento, en cuanto a la finura analizada mediante el método de permeabilidad de Blaine, ya que los valores obtenidos están entre los límites.

TIEMPO DE FRAGUADO

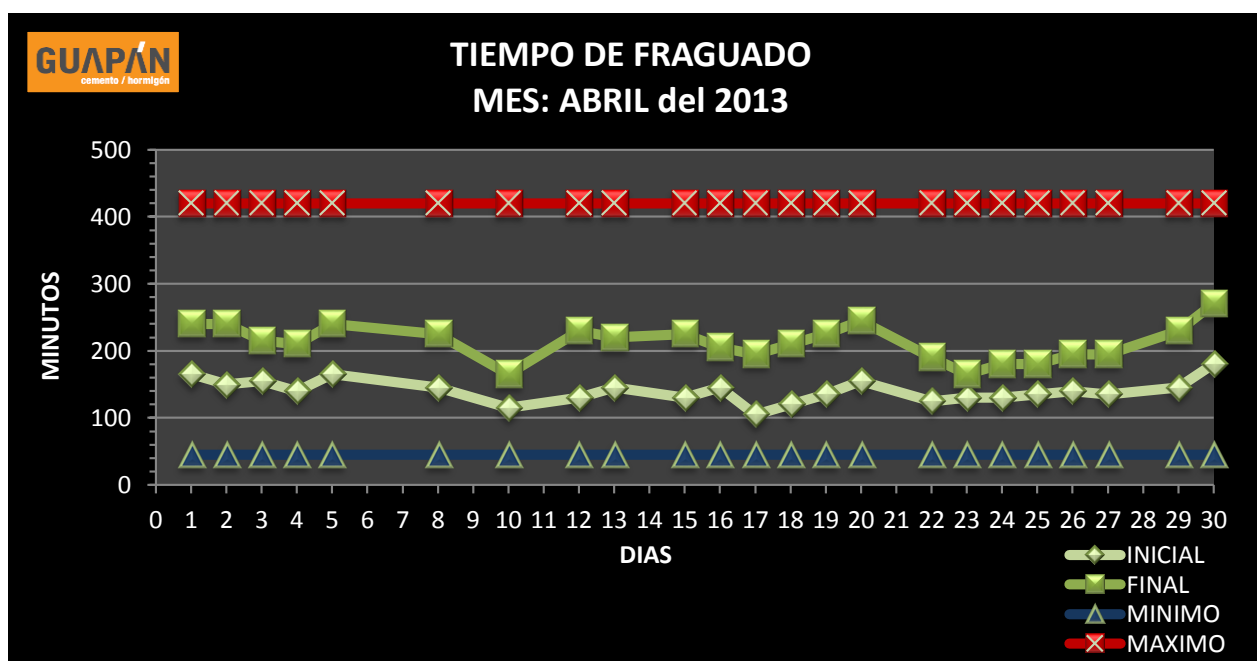
Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma INEN 490, se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influyen sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua-cemento, y los aditivos usados. Los tiempos de fraguado de los concretos no están relacionados directamente con los tiempos de fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire (evaporación) o en los lechos y debido a las diferencias de temperatura en la obra en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.

Así tenemos las siguientes gráficas para evaluar la diferencias en el tiempo de fraguando entre los dos meses.



Cuadro 4.5. Gráfica Resumen de Tiempos de Fraguado correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Marzo

Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"



Cuadro 4.6. Gráfica Resumen de Tiempos de Fraguado correspondiente a la muestra de cemento para el de Marzo

Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"

Requisitos expuestos por el departamento de calidad que son para el tiempo inicial mínimo 45 minutos y para el tiempo final de fraguado 420 minutos.

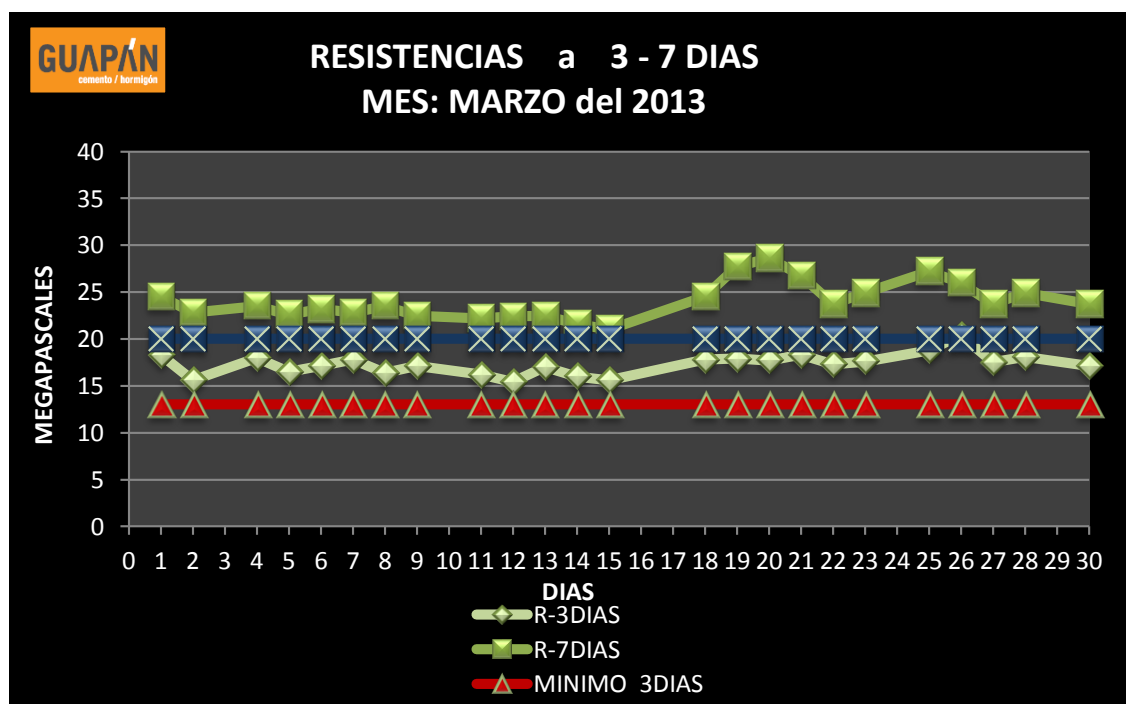
Siendo la gran diferencia que para el mes de abril, mes que ya se implementó el sistema de pre molienda y secado de puzolana los tiempos de fraguado han disminuido notablemente tanto para el tiempo inicial como para el final.

De esta manera ya podemos darnos cuenta que ha existido una mejora en la calidad del cemento, para corroborar este análisis finalmente analizaremos la resistencia a la comprensión.

RESISTENCIA A LA COMPRESION

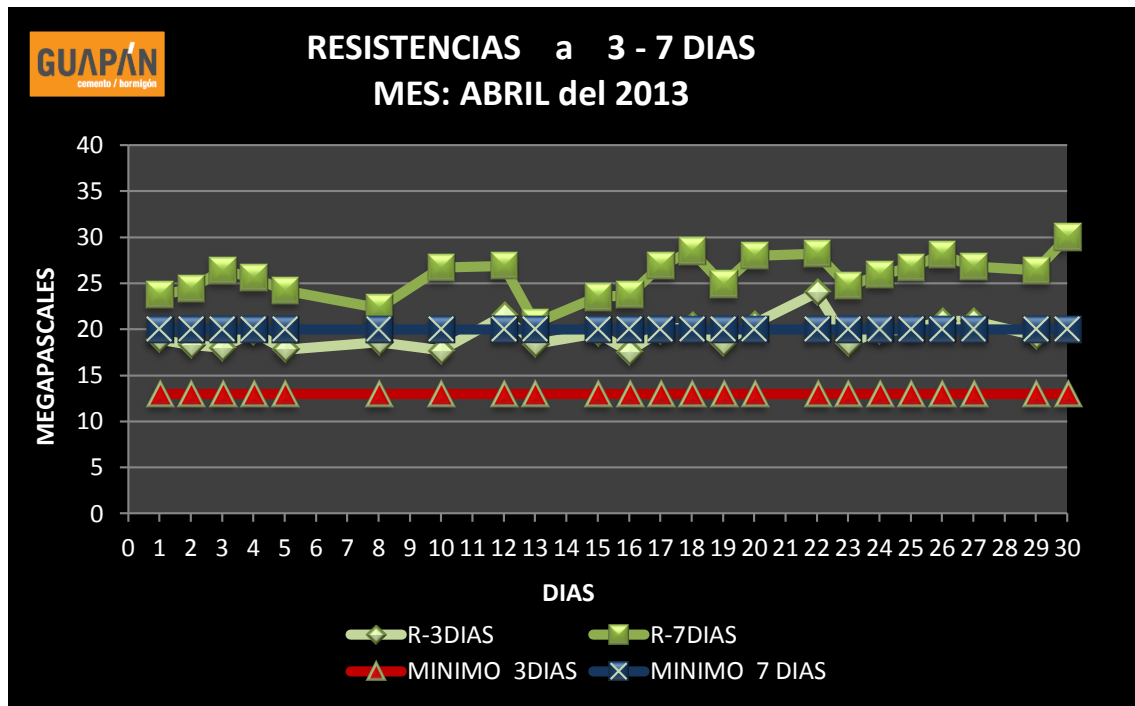
Evaluaremos la resistencia a la comprensión en el cemento para 3, 7 y 28 días, como lo hemos venido haciendo para los anteriores ensayos físicos evaluaremos tanto en el mes de marzo como el mes de abril para ver la diferencia en la calidad de cemento.

Teniendo la siguiente grafica para el mes de Marzo.



Cuadro 4.8. Gráfica Resumen Resistencias 3-7 días correspondiente a la muestra de cemento para el de Marzo

Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"



Cuadro 4.8. Gráfica Resumen de Tiempos Resistencias 3-7 días correspondientes a la muestra de cemento para el mes de Abril

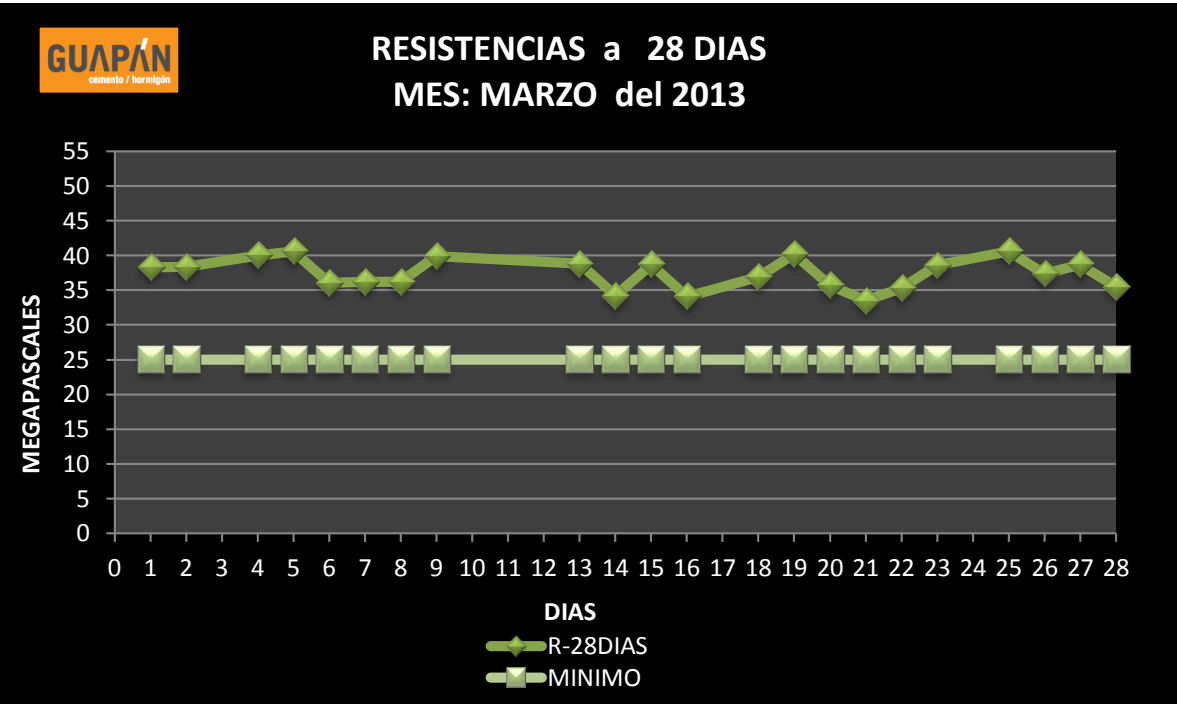
Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"

El resumen de estas dos graficas es el siguiente:

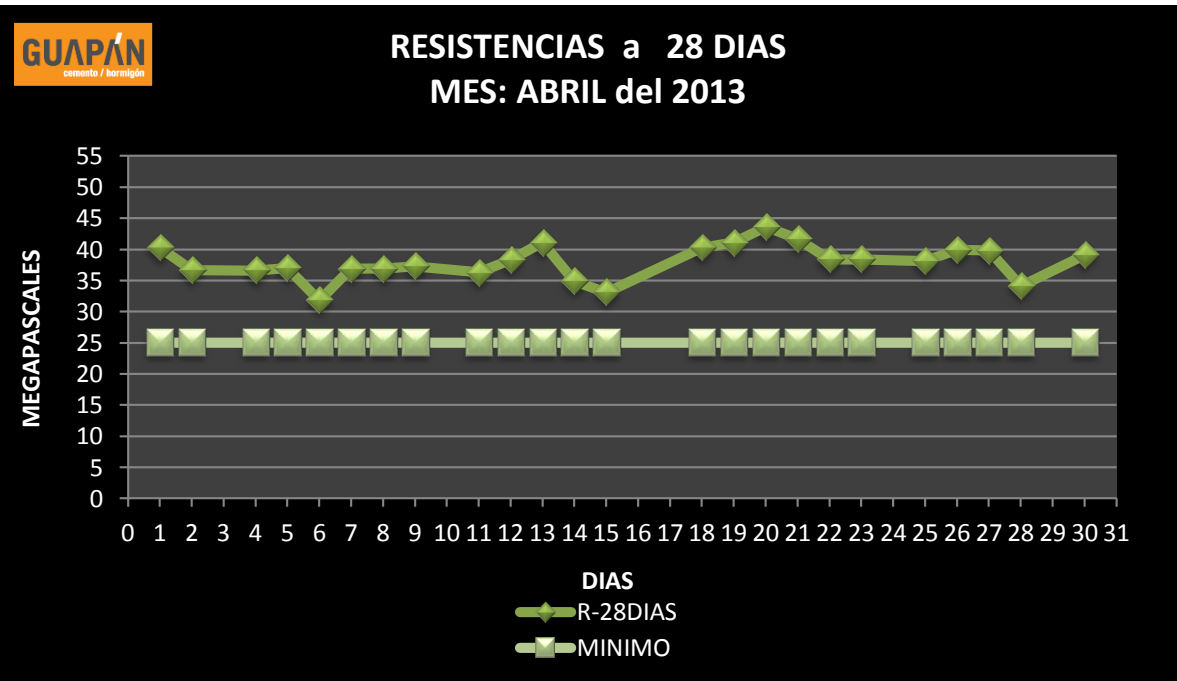
Para la resistencia 3 días en los dos casos cumplen con los requisitos pero para el mes de abril se puede observar que las resistencias son mayores.

Para la resistencia a 7 días no existe una diferencia muy notoria como el anterior pero de igual manera se puede observar que en algunos casos para el mes de abril se tiene mayor resistencia.

Esto nos indica que efectivamente se ha mejorado la calidad del cemento, conclusión que la verificaremos con el análisis de la resistencia a 28 días teniendo:

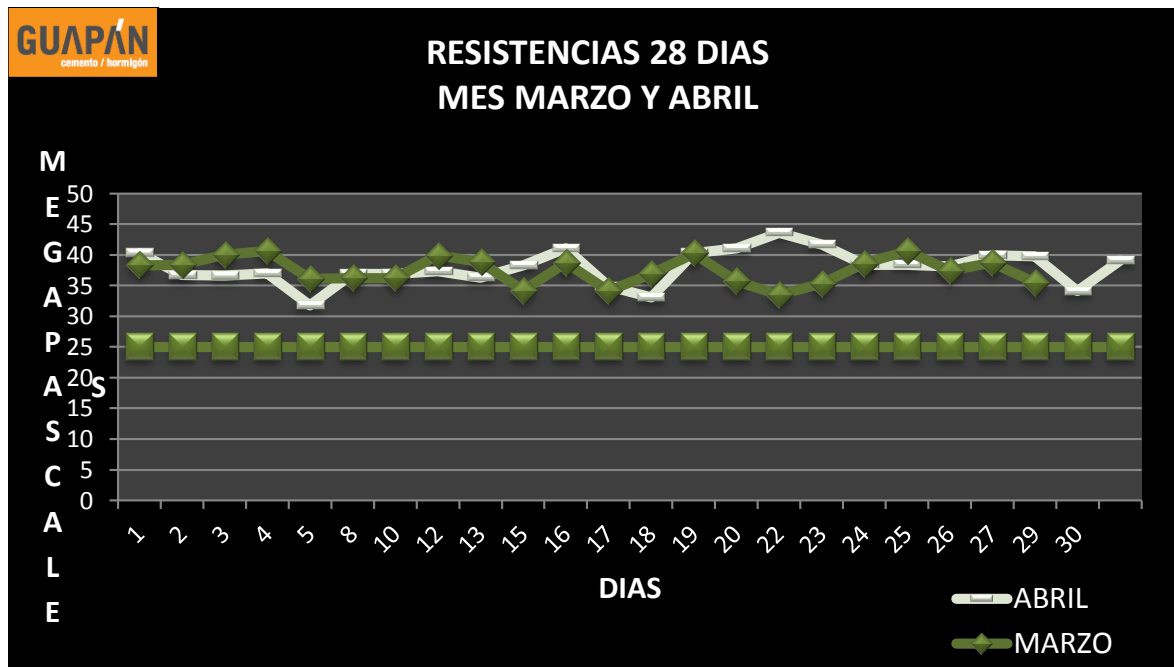


Cuadro 4.8. Gráfica Resumen Resistencias 28 días correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Marzo
Fuente: Departamento de Calidad “Industrias Guapán”



Cuadro 4.8. Gráfica Resumen Resistencias 28 días correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Abril
Fuente: Departamento de Calidad “Industrias Guapán”

Al no tener una clara apreciación en estas dos graficas las hemos juntado en un solo grafico para poder analizarlas



Cuadro 4.9. Gráfica Resumen Resistencias 28 días correspondiente a la muestra de cemento para el mes de Marzo y Abril

Fuente: Departamento de Calidad "Industrias Guapán"

La diferencia no es notable ya que en algunos días es mayor para el mes de marzo y en otros es mayor para el mes de abril, concluyendo que en los dos casos se cumple con los requisitos expuestos por la norma INEN, de la tabla de datos se tienen que la media de resistencias para el mes de marzo es de 37.45Mpa y para el mes de abril es de 37.99Mpa siendo los valores muy parecidos.

Con este estudio finalizamos este capítulo observando datos muy favorables para esta investigación.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El paso de la puzolana por el secador no afecta sus características físicas químicas, solo permite una disminución de la humedad y un ligero incremento en la actividad puzolánica lo cual da como resultado una mayor adición de la misma, el incremento en la adición de puzolana genera una disminución en el costo de fabricación por tonelada de cemento de \$4.12 en promedio.

En el análisis difractométrico realizado a la puzolana nos pudimos dar cuenta que la mejor temperatura para la activación es de 500°C, además nos pudimos dar cuenta que la puzolana no es un material sensible ya que no presenta degradación hasta temperatura cercanas a 650°C

Este incremento en la adición de la puzolana permitió una mejor calidad del cemento, lo cual se vio reflejado en los ensayos físicos como son menores tiempos de fraguado, menor fineza del material lo cual permitirá una mayor velocidad en la hidratación.

Uno de los ensayos más importantes en el control de calidad del cemento como es la resistencia a la compresión también presento mejores resultados con la incorporación de estos nuevos sistemas, pues mejoro las resistencias para los 3, 7 y 28 días asegurando así un cemento de excelente calidad a sus consumidores.

El sistema de pre molienda es el que permite tener un cemento más fino puesto que este disminuye el tamaño de partícula del material que entra al molino de cemento a una dimensión de 6mm máximo.

A más de ayudar en la disminución del tamaño de partícula, el sistema de pre molienda genera una disminución del consumo energético, esta disminución es de

3.64Kwh/t, siendo el costo del kilovatio hora de siete centavos y produciéndose al mes aproximadamente 40923 toneladas de cemento, significa un ahorro mensual de \$10427.18

$$Ahorro = 3.64kwh/tn \times 40923tn \times 0.07\$/kwh$$

$$Ahorro = \$10427.18$$

Como se pudo observar en el capítulo 4, en la parte del análisis de la inversión, tanto el sistema de secado de puzolana como el sistema de premolienda reflejan una enorme incidencia **en la disminución del costo** de producción de tonelada de cemento, a tal punto que debido a la reducción del costo en fabricar una tonelada de cemento, como a la reducción del consumo energético, se puede recuperar la inversión realizada en estos dos sistemas cuyo valor en promedio fue de 8.000.000 al lapso de 4 años, **demostrando así la rentabilidad en la inversión de estos equipos.**

El área de molienda de cemento es una de las más importantes en cualquier industria cementera ya que es en esta etapa del proceso de fabricación de cemento en el que se pueden aplicar mejoras constantes, y que nos permitan un mayor rendimiento en base al control, uso y monitoreo de variables de operación y de calidad de materia prima, relacionando estas actividades con el aporte de valor que se pueda dar al producto y consecuentemente a la rentabilidad de la Compañía.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Delgado, A. y Negrete *Evaluación de uso de arcillas y puzolanas en la etapa de molienda de acabado para la fabricación de cemento portland puzolánico tipo IP*. Tesis de grado no publicada. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Díaz, O. *La evolución de la industria del cemento con énfasis en Latinoamérica*. Tesis de grado no publicada. Universidad de San Carlos de Guatemala, San Carlos, Guatemala.
- Guamán, A. y Piña, F. (2007). *Diseño de un sistema de secado de puzolana para la Empresa Industrias Guapán S.A.* Tesis de grado no publicada, UPS, Cuenca, Ecuador.
- Industrias Guapán. *La Empresa*. Recuperado de página web: <http://www.industriasguapan.com.ec/la-empresa>
- INECYC, La industria del cemento en Ecuador, (2008). Quito, Ecuador
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. *NTE INEN 151:2010 Tercera Revisión*. Recuperado de <http://www.inen.gob.ec/images/pdf/nte/151.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. *NTE INEN 496:1980*. Recuperado de <http://www.inen.gob.ec/images/pdf/nte/496.pdf>
- Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Hormigón. *Comercialización del cemento*. Recuperado de <http://www.inecyc.ec/index.php/estadisticas-importaciones-historicos/main-menu/comercializacion-2012>
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. *Historia del Cemento*. Recuperado de http://ieca.es/reportaje.asp?id_rep=5

ANEXOS

Anexo 1: Manual de procedimiento para la toma y preparación de muestras

1. PROPOSITO:

Establecer una instrucción para la toma y preparación de muestras.

2. ALCANCE:

Aplica a las materias primas, producto en proceso y producto terminado

3. DEFINICIONES:

- **Cuarteador:** Equipo utilizado para sacar una muestra representativa de una determinada cantidad. de material a analizar.
- **Muestra:** Es una cantidad de material extraída de un lote, al azar o mediante un procedimiento de muestreo estadístico a considerar y representativa de la calidad del mismo.
- **Barreno:** Agujero realizado por la perforadora en un banco de explotación

4. RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Muestrero y/o Analista de Calidad.

5. EQUIPO:

- Cuarteador
- Bandeja para cuarteo
- Tamiz
- Saca muestras

6. INSTRUCCIONES:

6.1. En la mina a extraer el material, se lleva a cabo el muestreo cada vez que se requiera y esta necesidad será comunicada por el Departamento de Minas.

6.1.1. Se toma una muestra de cada perforación, preparada por el personal de Minas en una cantidad aproximada de 1 kg.

6.1.2. En el cuarteador de muestras se realiza la clasificación de la muestra.

6.1.3. Tomar una cantidad aproximada de 0.25 kg de la muestra clasificada.

-
- 6.1.4. Mezclar y extraer una sola muestra de aproximadamente 0.1 kg para determinar la humedad según *I. CK -7.1- 02*.
- 6.1.5. Proceder a la pulverización de la muestra en el vibro molino.
- 6.1.6. Colocar en la chapeta de aluminio e identificarla convenientemente.
- 6.2. En trituración se lleva a cabo el muestreo cada hora durante el tiempo programado por día.
- 6.2.1. Se toma una muestra aproximada de 2–3 kg en la caída de la C1.
- 6.2.2. Se siguen los pasos 6.1.2 al 6.1.6.
- 6.3. En el área D se lleva a cabo el muestreo cada hora durante la molienda de crudo. Se toma la muestra en el toma muestras ubicado en el ducto de los finos a la salida del separador de aire D15.
- 6.3.1. Abrir la tapa del toma muestra y proceder a llenar el recipiente utilizado para el muestreo en un 80% con ayuda del brazo mecánico ubicado en este lugar
- 6.3.2. Seguir a continuación 6.1.4
- 6.4. En el área E se lleva a cabo el muestreo cada dos horas durante la alimentación al horno en la banda de transporte de material E41, y **en los Silos** cada vez que se comprueba la fabricación, luego del tiempo asignado de homogenización
- 6.4.1. Llenar el vaso utilizado para el muestreo en un 80% con el material tomado en la banda E41
- 6.4.2. Seguir la instrucción 6.1.4.
- 6.5. En el área F se lleva a cabo muestreo cada dos horas durante el funcionamiento del horno en la cadena de transporte de material (clínker) F 41.
- 6.5.1. Con la ayuda del saca muestras colocar la muestra en el tamiz de abertura nominal mayor, tamizar y recibir en el tamiz de abertura menor, nuevamente tamizar y el material (clínker) que se retiene en este tamiz ponerlo en el recipiente de muestreo.
- 6.5.2. Llenar el recipiente utilizado para el muestreo en un 80% aproximado.

6.6. En el área G se lleva a cabo muestreo cada dos horas durante el funcionamiento del molino y se lo realiza en el ducto que llega a la bomba de transporte de material hacia el silo de almacenaje.

6.6.1. Llenar el recipiente utilizado para el muestreo en un 80% aproximado con la ayuda de la cuchara saca muestras ubicadas en el lugar.

6.6.2. De esta muestra se toma aproximadamente 0.1 kg para la determinación de los parámetros cada dos horas y el resto se acumula para las pruebas físico-químicas suplementarias a realizar el siguiente día excepto sábado y domingo que se realiza el día lunes.

6.7. En el área H se lleva a cabo muestreo cada dos horas durante el despacho del producto proveniente de las boquillas de empaque.

6.7.1. Cada dos horas es colocada en los baldes porta muestras

6.7.2. Llenar el recipiente utilizado para el muestreo en un 60%. Aproximado.

6.7.3. Para los ensayos físicos-mecánicos y químicos del día posterior se mezclan todas estas muestras para luego tomar una muestra representativa.

6.8 En el caso de Yeso, arcilla, caliza, mineral de hierro y Puzolana que se adquieren a proveedores, se lleva a cabo el muestreo cada día durante los ingresos sobre el material contenido en los vehículos.

6.8.1 En el área de descarga asignada se procede a tomar la muestra en un balde toma-muestras y llenarlo en un 80% aproximado, con una muestra representativa del ingreso de todo el día anterior por proveedor.

6.8.2 Se procede a triturar en el equipo dispuesto en laboratorio.

6.8.3 Se coloca en una chapa de aluminio con su identificación, en una cantidad aproximada de 50 g.

7. REFERENCIA:

- Norma NTE INEN 153 02:1987
- I.CK-7.1-02 Instructivo para Determinación de la Humedad

8. ANEXOS:

No Aplica.

Fuente: Departamento de Calidad CIA Industrias Guapán

Anexo 2: Manual de procedimiento para determinar la granulometría

1. PROPOSITO:

Determinar la granulometría en el material objeto de análisis.

2. ALCANCE:

Se aplica para las muestras de Caliza, Yeso, puzolana, clinker.

3. DEFINICIONES:

- **Granulometría:** Es la determinación de los diámetros medios de las partículas del material en estudio y la proporción de ellos en referencia a la muestra total. Se basa en la pesada del material retenido luego del movimiento de zarandeo en los tamices correspondientes.
- **Fineza:** Se denomina fineza al grado granulométrico de material tamizado.
- **Tamiz:** Clasificador de materiales por medio de una malla de abertura determinada y especificada

4. RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Muestrero y/o Analista de Calidad.

5. EQUIPO:

- Recipiente con tapa base para recoger la muestra.
- Balanza.
- Juego de tamices # 50 mm, 31.5 mm, 20 mm, 16 mm, 10 mm, 6.3 mm o de abertura menor, según el tamaño de partícula a determinar

6. INSTRUCCIONES:

6.1. Tomar de 20 a 25 kg de muestra.

6.2. Pesar la cantidad de muestra a utilizarse (peso inicial).

6.3. Depositar la muestra en el juego de tamices correctamente ordenados (de mayor a menor abertura) agitándolos convenientemente para que el material pase por los diferentes tamices.

6.4. Pesar el retenido en cada tamiz. Expresarlo en porcentaje del total de muestra.



7. CALCULOS:

Se calcula primeramente con el peso retenido en cada tamiz los porcentajes referidos al peso inicial luego los porcentajes acumulados, comenzando con el tamiz de mayor abertura hasta el tamiz de menor abertura.

8. REFERENCIA:

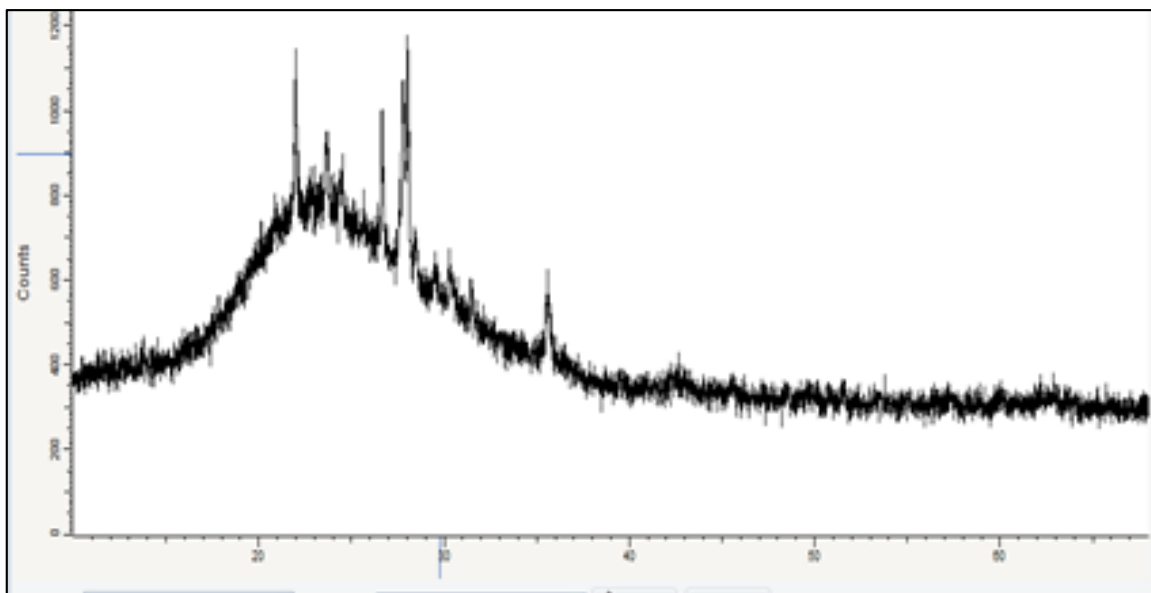
- INEN 0154 1R/1986 Tamices de ensayo

9. ANEXOS:

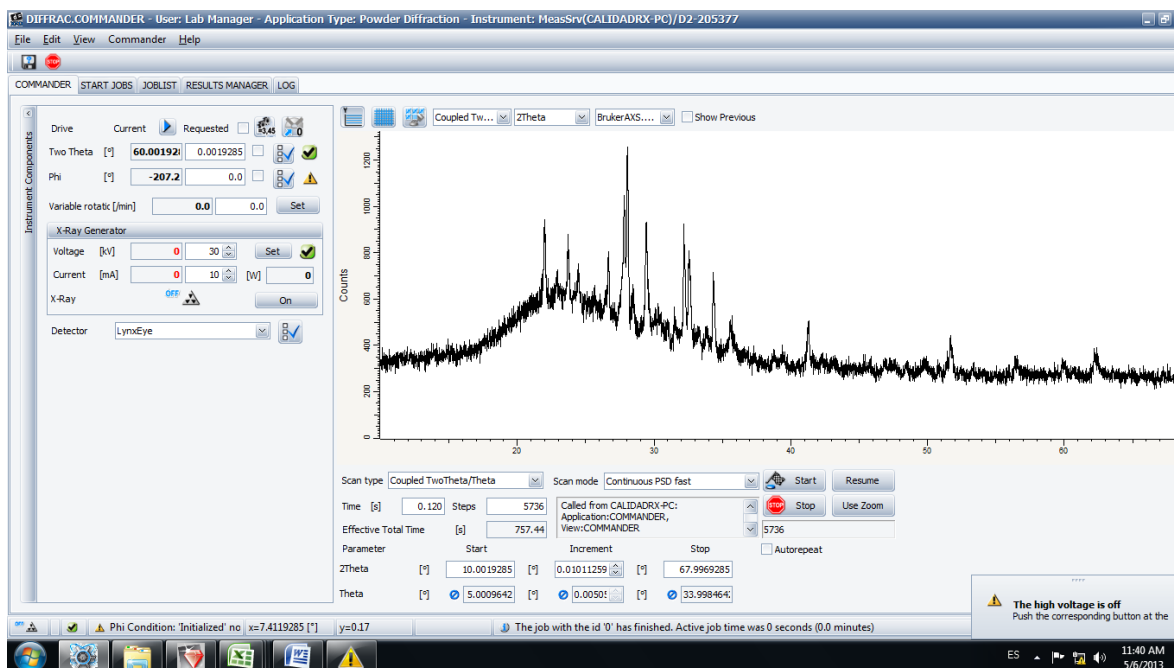
No Aplica

Fuente: Departamento de Calidad CIA Industrias Guapán

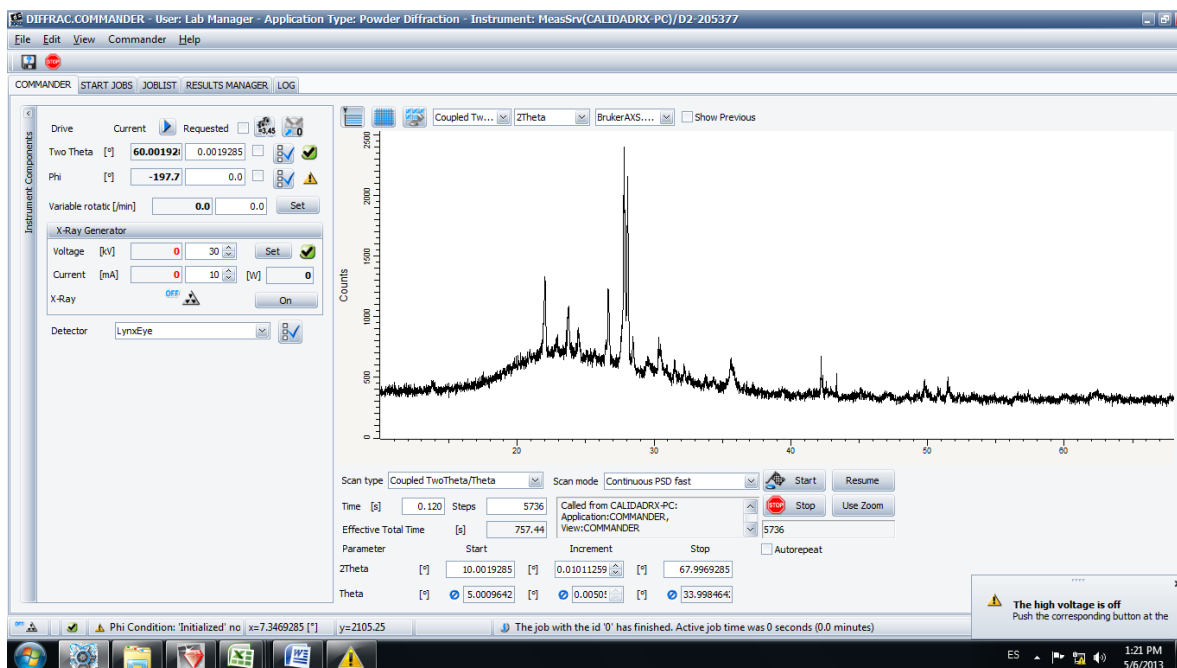
Anexo 3: Difractogramas de Puzzolana y Mix de Premolienda y colector de polvos G24



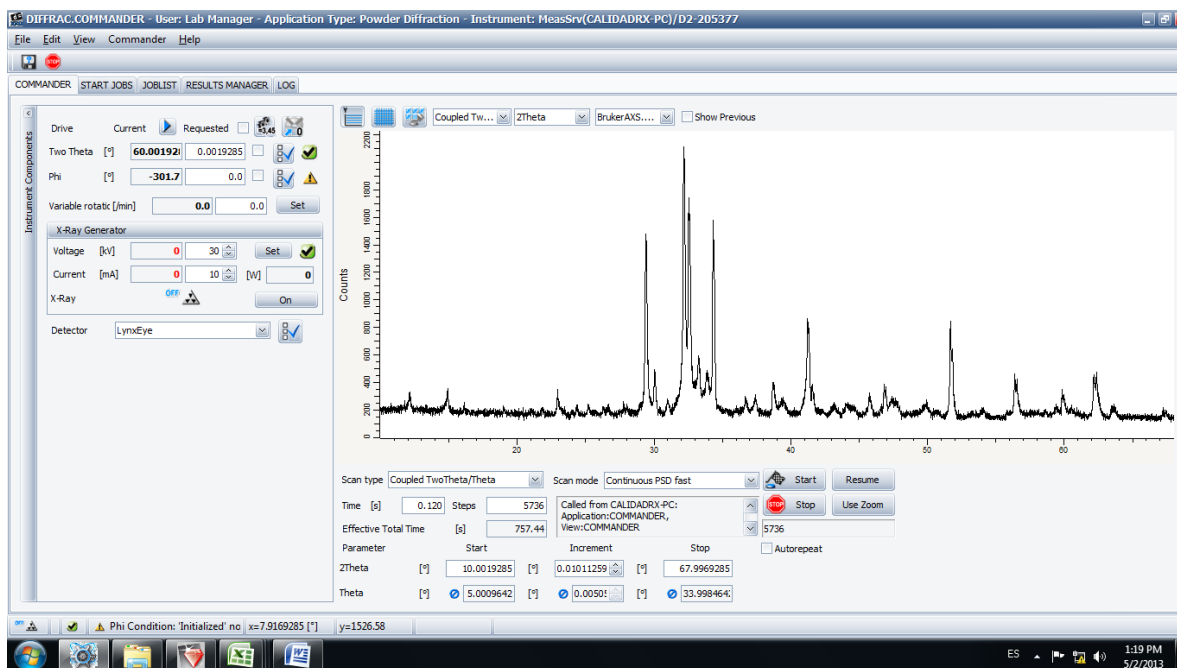
Grafica A1: Difractograma de la puzzolana seca solo polvos pasado tamiz 149 micras 14:00 2013-04-25
Fuente: Propia



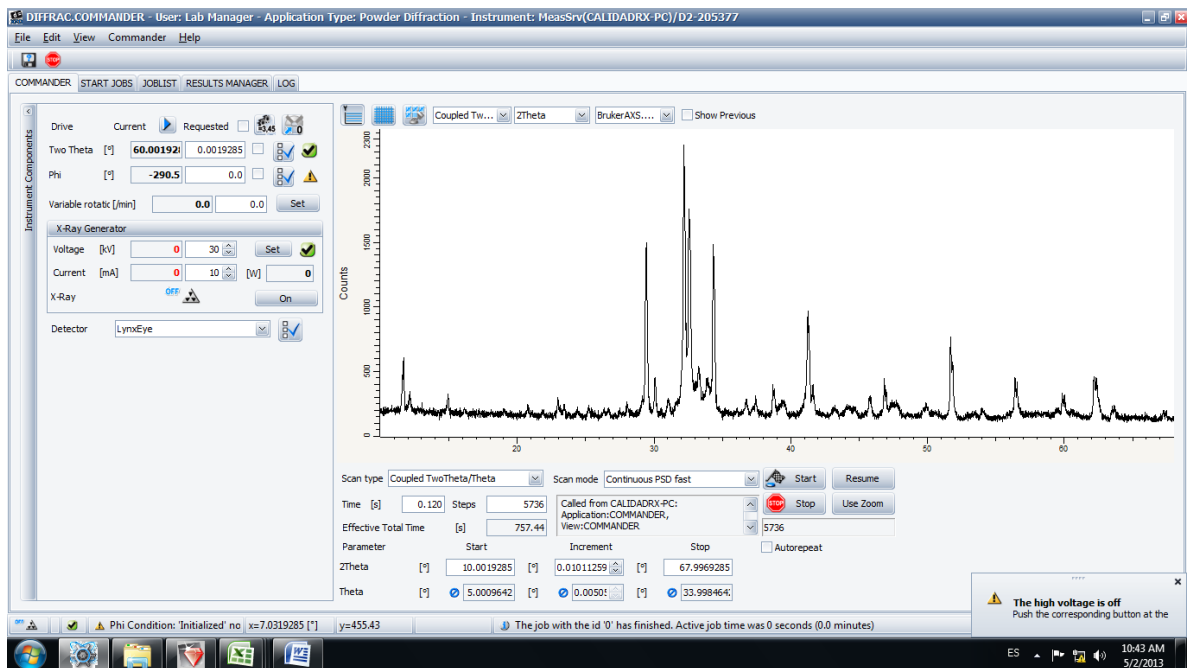
Grafica A2: Difractograma de puzzolana a la entrada del secador a las 11:00 05-05-2013
Fuente: Propia



Grafica A3: Difractograma de puzolana a la salida del secador a las 13:00 05-05-2013
Fuente: Propia



Grafica A4: Difractograma de premolienda a la entrada del molino de cemento a las 12:00 02-05-2013
Fuente: Propia



Grafica A5: Difractograma del colector de polvos G24 A LAS 10:00 02-05-2013
Fuente: Propia

Anexo 4 Tabla para el cálculo de Blaine

DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

TABLA PARA BLAINES EN EL PERMEABILIMETRO

FECHA: 2013/04/15

GUAPÁN

K=	TIEMPO	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
24.3902	40	2787	2782	2778	2775	2772	2768	2764	2760	2756	2753	2750	2746	2741	2738
	41	2821	2817	2813	2810	2807	2802	2798	2794	2790	2787	2784	2780	2776	2772
PESO=	42	2855	2851	2847	2844	2841	2836	2832	2828	2824	2821	2817	2813	2809	2806
2.7477	43	2889	2885	2881	2877	2874	2870	2866	2861	2857	2854	2851	2847	2842	2839
	44	2923	2918	2914	2911	2907	2903	2899	2894	2890	2887	2884	2880	2875	2872
	45	2956	2951	2947	2944	2940	2936	2931	2927	2923	2920	2916	2912	2908	2905
	46	2988	2984	2979	2976	2973	2968	2964	2959	2955	2952	2949	2944	2940	2937
	47	3021	3016	3012	3008	3005	3000	2996	2991	2987	2984	2980	2976	2972	2968
	48	3053	3048	3043	3040	3037	3032	3028	3023	3019	3015	3012	3008	3003	3000
	49	3084	3080	3075	3072	3068	3064	3059	3054	3050	3047	3043	3039	3034	3031
	50	3115	3111	3106	3103	3099	3095	3090	3085	3081	3078	3074	3070	3065	3062
	51	3146	3142	3137	3134	3130	3125	3121	3116	3112	3108	3105	3100	3096	3092
	52	3177	3172	3168	3164	3161	3156	3151	3147	3142	3138	3135	3130	3126	3122
	53	3208	3203	3198	3194	3191	3186	3181	3177	3172	3168	3165	3160	3156	3152
	54	3238	3233	3228	3224	3221	3216	3211	3207	3202	3198	3195	3190	3185	3182
	55	3268	3263	3258	3254	3251	3246	3241	3236	3231	3228	3224	3219	3215	3211
	56	3297	3292	3287	3284	3280	3275	3270	3265	3261	3257	3253	3249	3244	3240
	57	3326	3321	3317	3313	3309	3304	3299	3294	3290	3286	3282	3277	3273	3269
	58	3355	3350	3345	3342	3338	3333	3328	3323	3318	3315	3311	3306	3301	3298
	59	3384	3379	3374	3370	3367	3362	3357	3352	3347	3343	3339	3334	3330	3326
	60	3413	3408	3403	3399	3395	3390	3385	3380	3375	3371	3368	3363	3358	3354
	61	3441	3436	3431	3427	3423	3418	3413	3408	3403	3399	3395	3390	3385	3382
	62	3469	3464	3459	3455	3451	3446	3441	3436	3431	3427	3423	3418	3413	3409
	63	3497	3492	3487	3483	3479	3474	3469	3463	3458	3454	3451	3446	3441	3437
	64	3525	3520	3514	3510	3506	3501	3496	3491	3486	3482	3478	3473	3468	3464
	65	3552	3547	3542	3538	3534	3528	3523	3518	3513	3509	3505	3500	3495	3491
	66	3579	3574	3569	3565	3561	3555	3550	3545	3540	3536	3532	3527	3521	3518
	67	3606	3601	3596	3592	3588	3582	3577	3572	3566	3562	3559	3553	3548	3544
	68	3633	3628	3622	3618	3614	3609	3604	3598	3593	3589	3585	3580	3574	3570
	69	3660	3654	3649	3645	3641	3635	3630	3625	3619	3615	3611	3606	3601	3597
	70	3686	3681	3675	3671	3667	3662	3656	3651	3645	3641	3637	3632	3627	3623
	71	3713	3707	3701	3697	3693	3688	3682	3677	3671	3667	3663	3658	3652	3648
	72	3739	3733	3727	3723	3719	3714	3708	3703	3697	3693	3689	3683	3678	3674
	73	3764	3759	3753	3749	3745	3739	3734	3728	3723	3719	3714	3709	3704	3699
	74	3790	3784	3779	3775	3770	3765	3759	3754	3748	3744	3740	3734	3729	3725
	75	3816	3810	3804	3800	3796	3790	3785	3779	3773	3769	3765	3759	3754	3750
	76	3841	3835	3830	3825	3821	3815	3810	3804	3798	3794	3790	3784	3779	3775
	77	3866	3860	3855	3850	3846	3840	3835	3829	3823	3819	3815	3809	3804	3799
	78	3891	3885	3880	3875	3871	3865	3859	3854	3848	3844	3840	3834	3828	3824
	79	3916	3910	3904	3900	3896	3890	3884	3878	3873	3868	3864	3858	3853	3848
	80	3941	3935	3929	3925	3920	3914	3909	3903	3897	3893	3888	3883	3877	3873
	81	3965	3959	3954	3949	3945	3939	3933	3927	3921	3917	3913	3907	3901	3897
	82	3990	3984	3978	3973	3969	3963	3957	3951	3946	3941	3937	3931	3925	3921
	83	4014	4008	4002	3998	3993	3987	3981	3975	3969	3965	3961	3955	3949	3945
	84	4038	4032	4026	4022	4017	4011	4005	3999	3993	3989	3984	3979	3973	3968

Grafica A6: Tabla para el cálculo de Blaine
Fuente: Departamento de Calidad Industrias Guapán

Anexo 5: Tabla de Resultados de Fineza, Fraguado y Resistencias a la Compresión


<div>  DEPARTAMENTO DE CALIDAD INFORME MENSUAL DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO PRODUCTO: CEMENTO PORTLAND TIPO IP NORMA INEN 490 </div>														MES: MAYO 2013
FINEZA				FRAGUADOS				RESISTENCIAS						
FECH	RETENI	BLAINE	MINIMO	F.INIC	MINIM	F.FINA	MAXIM	R. 3DIAS	MINIM	R. 7 DIAS	MINIMO	28 DIAS	ABRIL	
	TAM. 325	cm ² /g	cm ² /g	minuto	minuto	minuto	minutos	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa
1	5.8	3890	2800	185	45	255	420	20.5	13	26.5	20	1	25	38.7
2	3.4	4047	2800	160	45	240	420	20.2	13	27	20	2	25	37.8
3	4.8	3975	2800	135	45	195	420	20.6	13	26.4	20	3	25	42.5
4	8.9	3714	2800	160	45	225	420	18.9	13	25.7	20	4	25	40.7
6	7.4	3728	2800	135	45	210	420	16.8	13	23.5	20	5	25	41.7
7	5.2	4029	2800	135	45	195	420	18.6	13	25.7	20	8	25	43.3
8	3.5	3909	2800	140	45	210	420	16.8	13	24.6	20	10	25	41.1
9	5.1	3829	2800	160	45	240	420	21.1	13	25.6	20	12	25	37.7
10	5.6	3859	2800	150	45	225	420	18.9	13	27.1	20	13	25	33.9
11	4.4	3840	2800	190	45	255	420	18.5	13	24.4	20	15	25	36.9
13	4.2	4023	2800	150	45	225	420	22.8	13	31.3	20	16	25	34.9
14	3.5	4117	2800	120	45	180	420	19.8	13	29.9	20	17	25	38.2
15	4.2	4093	2800	120	45	180	420	19.5	13	26.7	20	18	25	40.1
16	3.9	4070	2800	135	45	225	420	20	13	23.5	20	19	25	38.8
17	3.8	4047	2800	135	45	195	420	21.8	13	28.7	20	20	25	41.7
18	4.6	4266	2800	170	45	230	420	19	13	25.1	20	22	25	44
20	5.6	4082	2800	135	45	195	420	20.5	13	26.8	20	23	25	42.3
21	5.8	4076	2800	165	45	255	420	18.6	13	24.9	20	24	25	41.3
22	4.5	4192	2800	150	45	210	420	18.3	13	25.7	20	25	25	38.6
23	4.5	4198	2800	135	45	195	420	18.1	13	26.5	20	26	25	40.6
24	3.3	4076	2800	145	45	210	420	19.8	13	28.2	20	27	25	37.7
27	4.8	4093	2800	135	45	195	420	20.1	13	29	20	29	25	41.2
28	4.8	4117	2800	145	45	210	420	18.1	13	26.1	20	30	25	42.4
29	6.1	3999	2800	120	45	180	420	19.3	13	27	20			
30	4.4	4237	2800	150	45	195	420	21.6	13	27	20			
31	5.2	4243	2800	125	45	180	420	19.4	13	25.8	20			
X.MEI	4.90	4029		145.6		211.9		19.52		26.49				39.83
X.MIN	3.3	3714		120		180		16.8		23.5				33.9
X.MA	8.9	4266		190		255		22.8		31.3				44
D.STD	1.25	150		18.46		23.88		1.43		1.83				2.62

Tabla A1: Resultados de Fineza, Fraguado y Resistencias a la compresión

Fuente: Departamento de Calidad Industrias Guapán

Anexo 6: Datos de Fluorescencia de rayos X para las muestras de Cemento

DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD											
										CODIGO	R.CK-7.1-12
RESULTADOS MENSUALES DE RX											
CARACTERISTICAS QUIMICAS										MES: ABRIL	
<div><div>GUAPÁN</div><div>cemento / hormigón</div></div> MUESTRA: CEMENTO DE EXPENDIO											
Sample	DIA	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	SO3 (%)	C3A ()	C4AF ()
EE 073	01/04/2013 15:53	30.19	6.60	3.28	54.45	1.10	0.56	0.93	1.60	11.92	9.99
EE 074	02/04/2013 15:12	30.41	6.67	3.37	53.88	1.12	0.56	0.92	1.51	11.98	10.24
EE 075	03/04/2013 16:05	29.36	6.54	3.21	54.82	1.10	0.53	0.87	1.77	11.90	9.77
EE 076	04/04/2013 15:29	28.71	6.41	3.28	56.27	1.11	0.52	0.84	1.39	11.43	9.97
EE 077	05/04/2013 15:54	29.99	6.58	3.12	54.00	1.10	0.57	0.92	1.46	12.15	9.50
EE 078	09/04/2013 08:08	29.81	6.57	3.00	53.83	1.09	0.55	0.94	1.46	12.34	9.13
EE 079	10/04/2013 13:44	28.40	6.38	2.89	57.17	1.10	0.47	0.79	1.63	12.02	8.79
EE 080	26/04/2013 10:22	24.99	5.76	2.90	60.60	1.03	0.35	0.60	1.92	10.35	8.84
EE 081	15/04/2013 08:08	27.11	6.14	2.93	56.77	1.03	0.44	0.76	1.91	11.31	8.90
EE 082	15/04/2013 16:11	27.54	6.27	2.90	57.26	1.03	0.46	0.80	1.93	11.70	8.81
EE 083	17/04/2013 08:17	29.37	6.58	2.83	55.20	1.07	0.51	0.92	1.65	12.66	8.62
EE 084	17/04/2013 15:56	27.64	6.34	2.88	57.41	1.09	0.45	0.83	1.80	11.94	8.77
EE 085	18/04/2013 16:14	29.78	6.76	2.76	54.41	1.08	0.54	0.93	1.40	13.23	8.41
EE 086	19/04/2013 16:27	30.23	6.84	2.83	54.70	1.10	0.56	0.98	1.60	13.35	8.61
EE 087	22/04/2013 08:23	31.65	7.19	2.79	52.79	1.05	0.63	1.10	1.79	14.33	8.50
EE 088	22/04/2013 16:23	30.03	6.88	2.80	54.60	1.06	0.56	1.01	1.84	13.50	8.51
EE 089	23/04/2013 15:38	30.67	6.96	2.85	53.11	1.05	0.60	1.05	1.84	13.63	8.68
EE 090	26/04/2013 10:22	24.99	5.76	2.90	60.60	1.03	0.35	0.60	1.92	10.35	8.84
EE 091	25/04/2013 15:19	32.77	7.35	2.80	50.04	1.05	0.69	1.16	1.76	14.73	8.52
EE 092	26/04/2013 16:01	31.44	7.08	2.77	51.81	1.07	0.64	1.10	1.99	14.07	8.42
EE 093	29/04/2013 08:18	31.42	7.06	2.77	52.27	1.09	0.63	1.07	1.96	14.02	8.42
EE 094	29/04/2013 16:19	30.92	6.96	2.73	52.75	1.10	0.62	1.03	2.13	13.84	8.30
EE 095	30/04/2013 15:59	30.63	6.89	2.68	53.45	1.08	0.60	1.03	1.98	13.73	8.15
X.MEDIA		29.48	6.63	2.92	54.88	1.08	0.54	0.92	1.75	12.63	8.90
STD		1.97	0.41	0.19	2.57	0.03	0.09	0.15	0.21	1.24	0.59
Mínimo		24.99	5.76	2.68	50.04	1.03	0.35	0.60	1.39	10.35	8.15
Màximo		32.77	7.35	3.37	60.60	1.12	0.69	1.16	2.13	14.73	10.24

Tabla A2: Resultados de Fluorescencia de rayos X para la muestra de cemento del mes de Abril de 2013

Fuente: Departamento de Control de Calidad Industrias Guapán